

Se tentarmos a arrumação em mais agrupamentos, os resultados deixam de ser satisfatórios (Tabela 5.2 e Figura 5.7). Na Figura 5.7, nomeadamente, é possível verificar que a divisão dos dias normalizados de 1990 em dois agrupamentos é bastante nítida em oposição ao caso de 3 ou mais agrupamentos. Estes resultados não são surpreendentes, se observarmos a Figura 5.1, facilmente verificamos que a separação dos dias úteis do ano é em função da quantidade e não da forma.

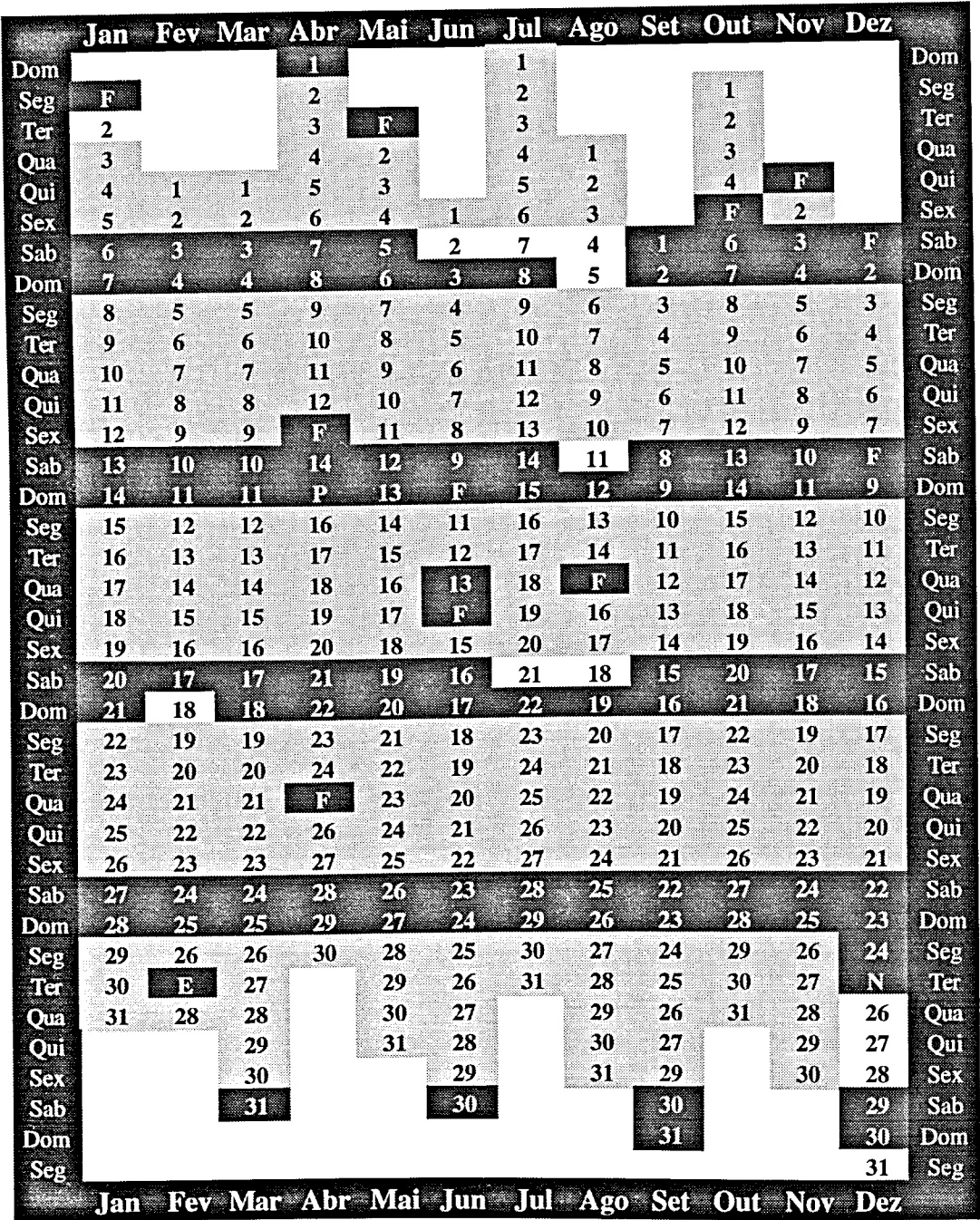


Figura 5.6: Divisão dos dias normalizados de 1990 em 2 agrupamentos "Puros"

nº de Agrup.	Coef. de partição F	Entropia de partição H	índice de aglom. I
2	0.9590	0.0363	0.1431
3	0.7016	0.2092	0.5124
4	0.6275	0.2606	0.5878
5	0.5135	0.3685	0.7020

Tabela 5.2: Critérios de validação para a divisão dos dias normalizados de 1990 em 2 a 5 agrupamentos

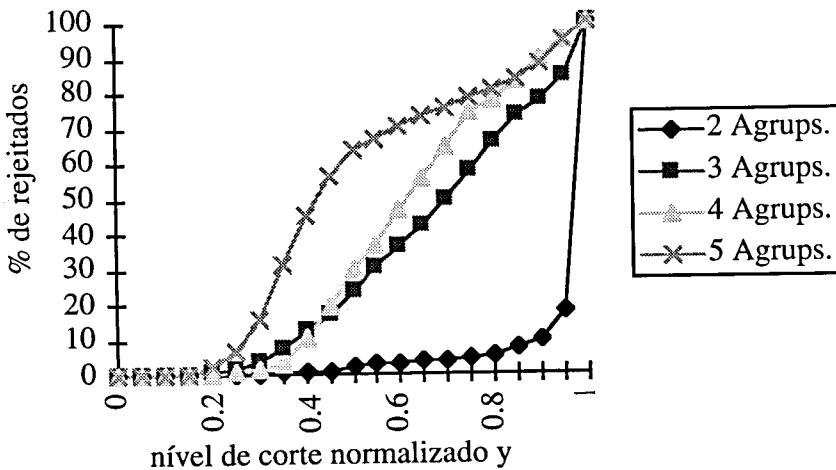


Figura 5.7: Evolução da percentagem de rejeitados em relação ao nível de corte, na divisão dos dias normalizados de 1990 em 2 a 5 agrupamentos.

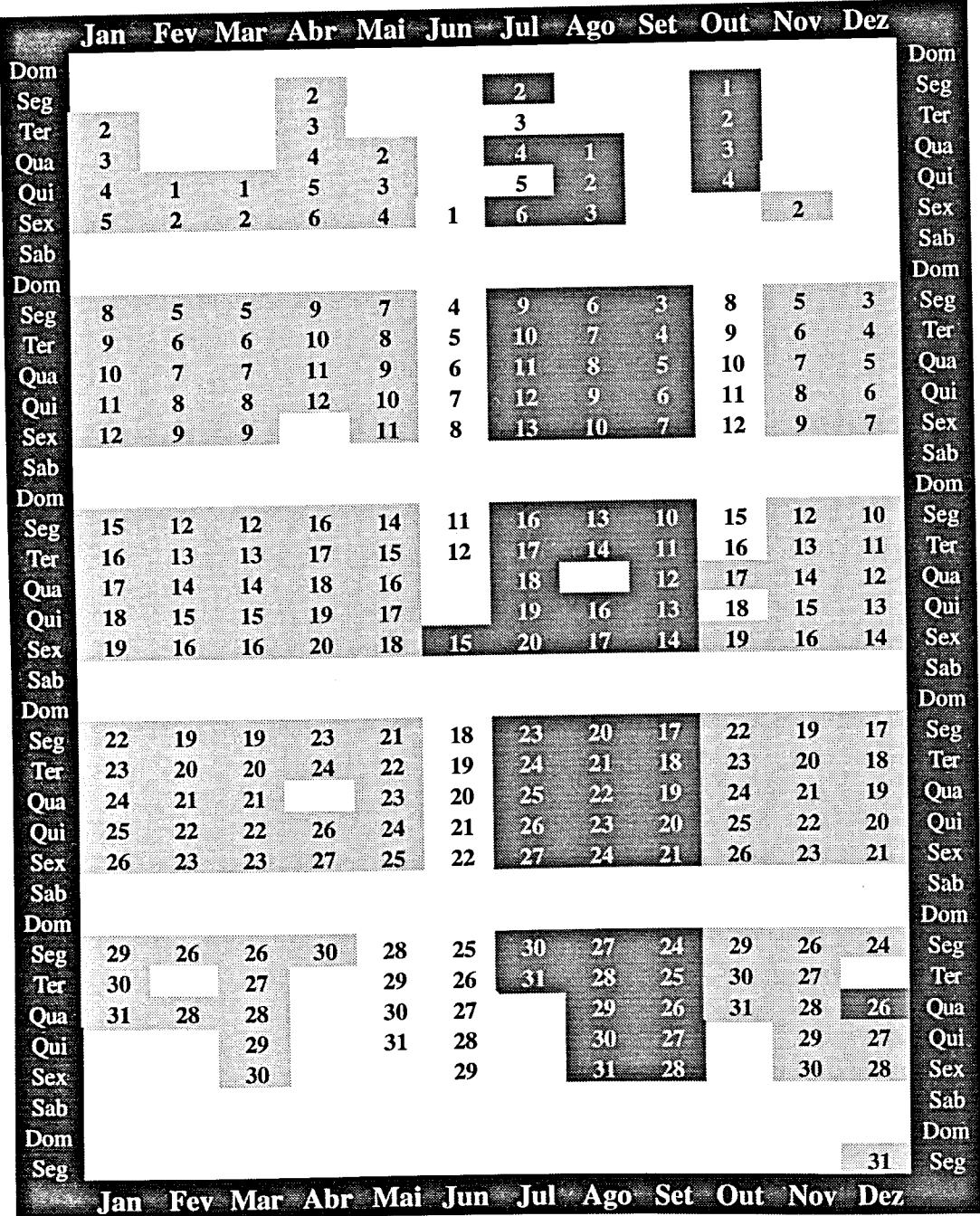
Exame nos dias úteis do ano

Para os estudos sobre os dias úteis, confirmam-se os resultados obtidos com o ano completo.

Nas Figuras 5.7 a 5.9 podemos observar a divisão dos dias úteis de 1990 em 2 a 4 agrupamentos, respectivamente.

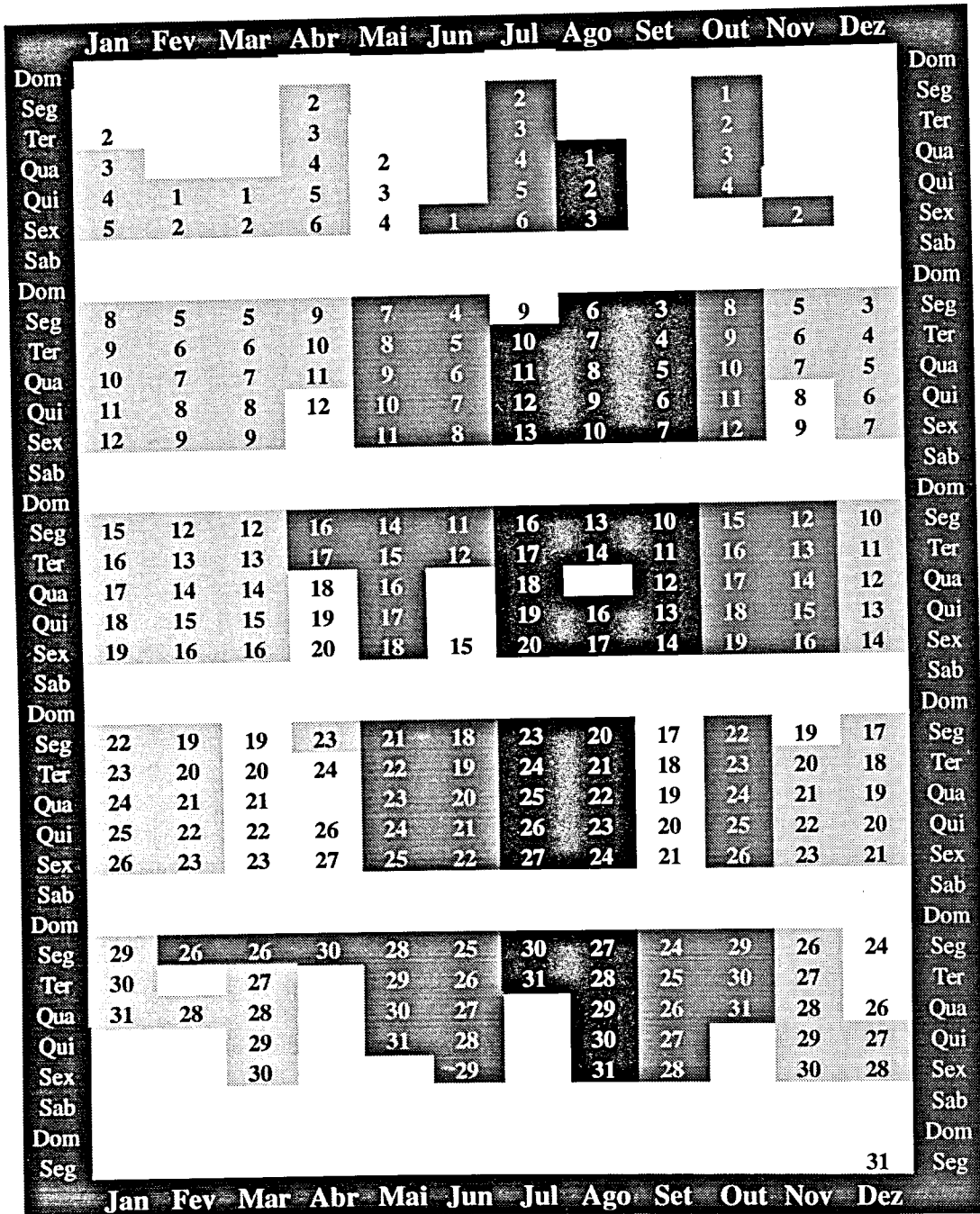
Da análise da Tabela 5.3 (critérios de validação para a divisão de 1990 em 2 a 5 agrupamentos) não se pode afirmar qual a melhor divisão (devido à monotonia dos critérios de validação em relação ao número de agrupamentos). Da análise da evolução da percentagem de rejeitados em relação ao nível de corte, na divisão dos dias úteis de 1990 em 2 a 5 agrupamentos (Figura 5.11) confirmam-se os resultados obtidos na divisão do ano completo.

Na divisão em 5 agrupamentos, mais uma vez, o agrupamento de Primavera-Outono não se divide em dois, respectivamente a Primavera e o Outono. Existe sim o aparecimento de um novo agrupamento entre os agrupamentos Primavera-Outono e Verão (ver Figura 5.10)



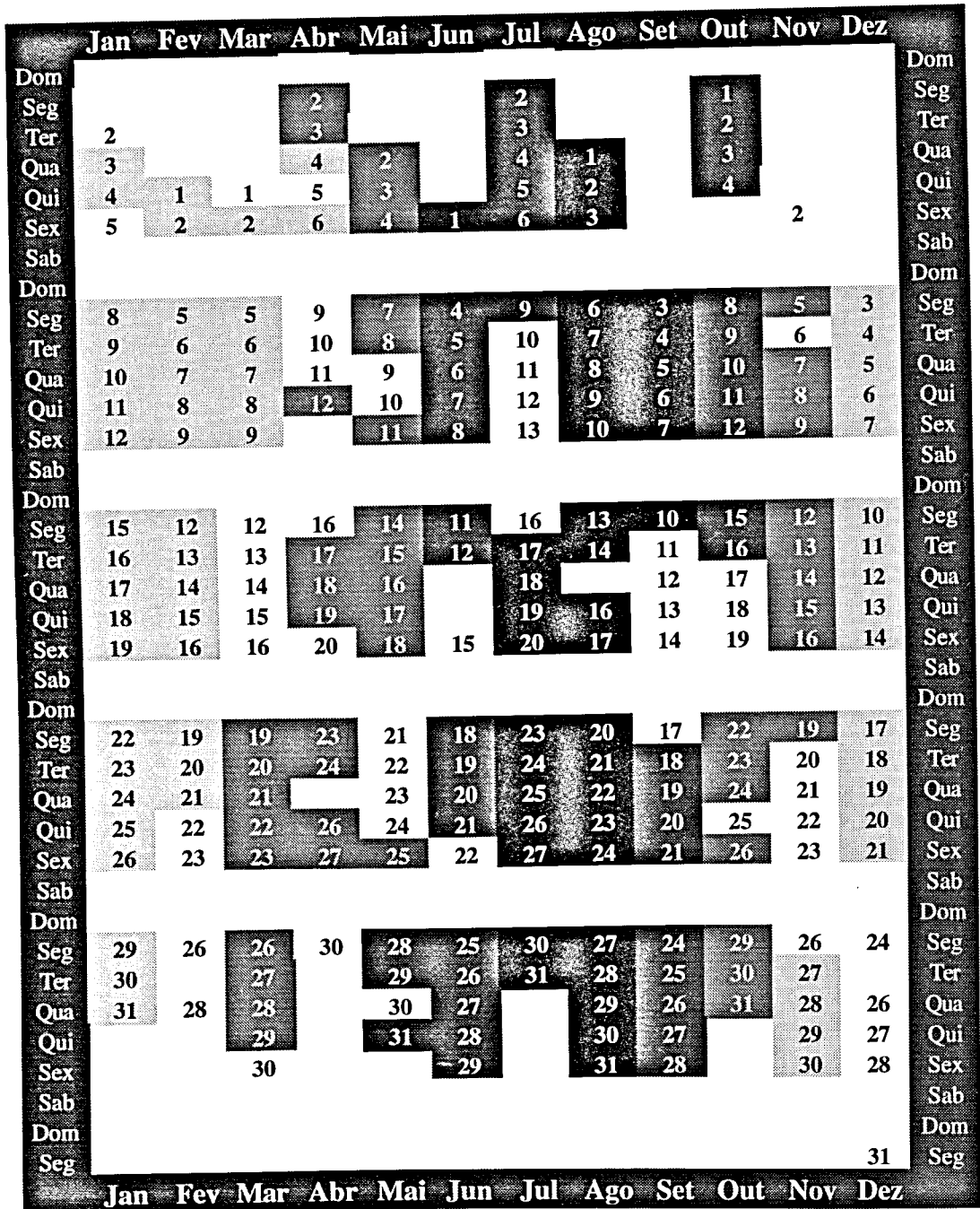
Classe 1 Classe 2 dias híbridos

Figura 5.7: Divisão dos dias úteis de 1990 em 2 agrupamentos "Puros"



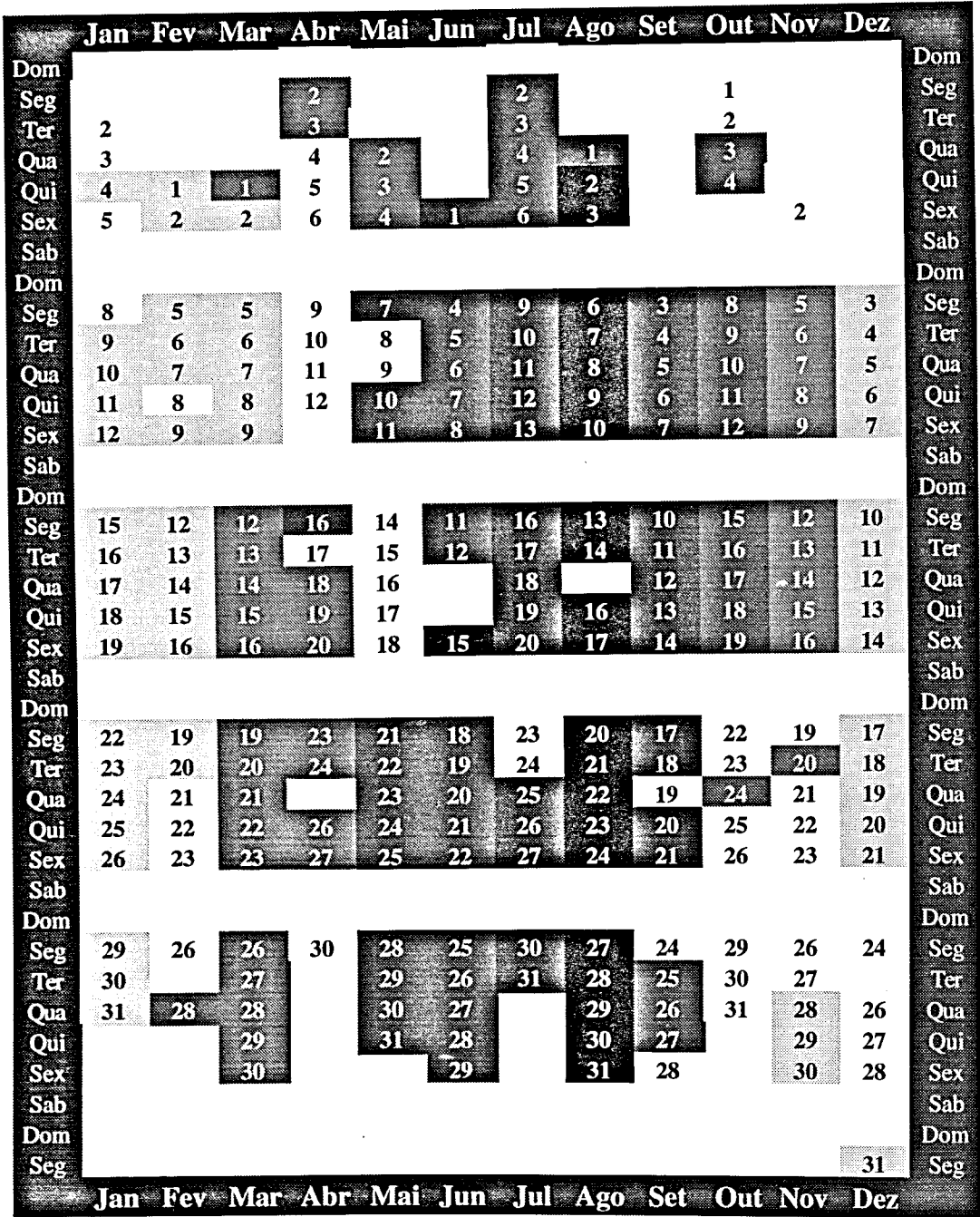
Classe 1 Classe 2 Classe 3 dias híbridos

Figura 5.8: Divisão dos dias úteis de 1990 em 3 agrupamentos "Puros"



Classe 1
 Classe 2
 Classe 3
 Classe 4
 dias híbridos

Figura 5.9: Divisão dos dias úteis de 1990 em 4 agrupamentos "Puros"



Classe 1 Classe 2 Classe 3 Classe 4 Classe 5

Figura 5.10: Divisão dos dias úteis de 1990 em 5 agrupamentos "Puros"

nº de agrups.	Coef. de partição F	Entropia de partição H	índice de aglom. I
2	0.9075	0.0678	0.2404
3	0.8672	0.1032	0.2607
4	0.7964	0.1616	0.3342
5	0.7662	0.1874	0.3593

Tabela 5.3: Critérios de validação para a divisão dos dias úteis de 1990 em 2 a 5 agrupamentos

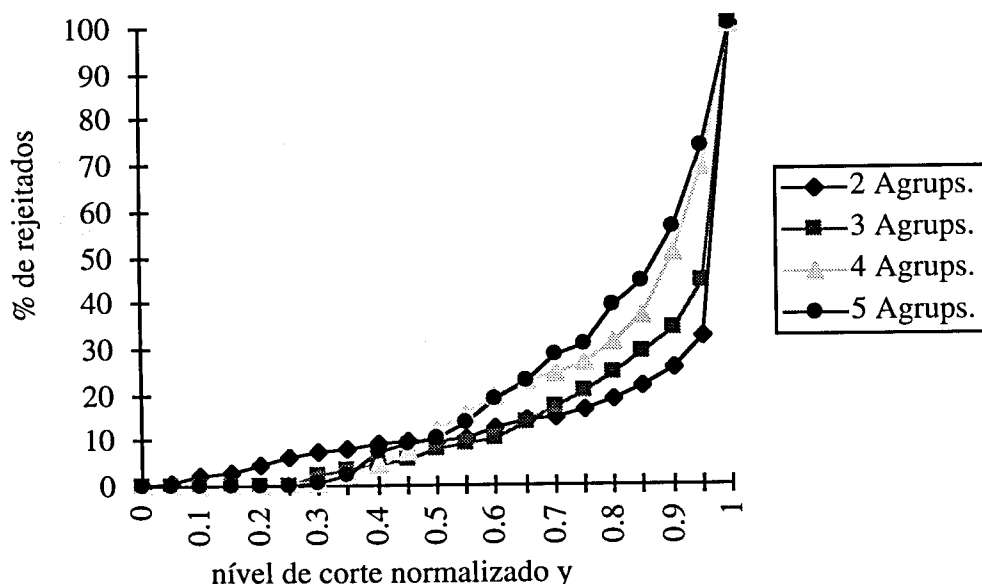


Figura 5.11: Evolução da percentagem de rejeitados em relação ao nível de corte, na divisão dos dias úteis de 1990 em 2 a 5 agrupamentos.

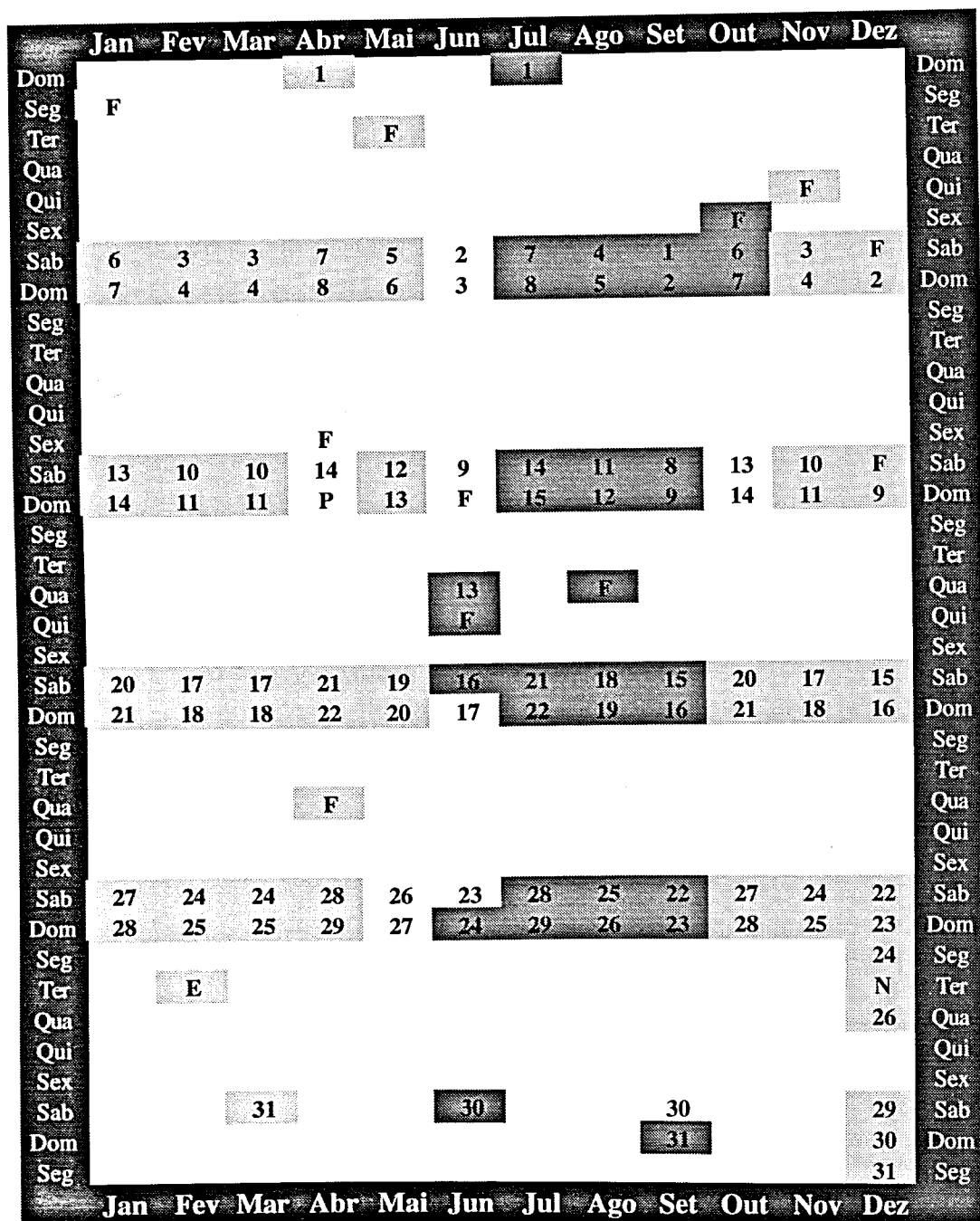
Exame dos Sábados, Domingos e Feriados do ano

O exame incidiu sobre os diagramas de consumo horário dos Sábados, Domingos e Feriados de 1987 a 1992, tendo-se analisado a repartição desses diagramas por agrupamentos, num número imposto de 2 a 8.

Nos estudos impondo a arrumação em dois agrupamentos, existe uma separação clara entre a época fria e a época quente, análoga à divisão dos dias úteis em dois agrupamentos, não existindo separação dos Sábados e Domingos. Para 1990, por exemplo, a época quente situa-se entre 2 Junho e 13 Outubro.

Se aumentarmos o número de agrupamentos para 3, assistimos à redução da época de inverno e nasce entre a mesma e a época de Verão um novo agrupamento, associado à Primavera-Outono. Com 4 agrupamentos já emerge da época de Verão a época especial de Férias: o mês de Agosto. Nas Figuras 5.12 a 5.14 é possível visualizar graficamente a divisão dos Sábados, Domingos e Feriados de 1990, respectivamente, em 2 a 4 padrões típicos de consumo.

Com 8 agrupamentos obtém-se uma divisão clara dos Sábados e Domingos, para além da divisão do ano em Inverno, Primavera-Outono, Verão e Agosto.



Classe 1 Classe 2 dias híbridos

Figura 5.12: Divisão dos s+d+fe de 1990 em 2 agrupamentos "Puros"

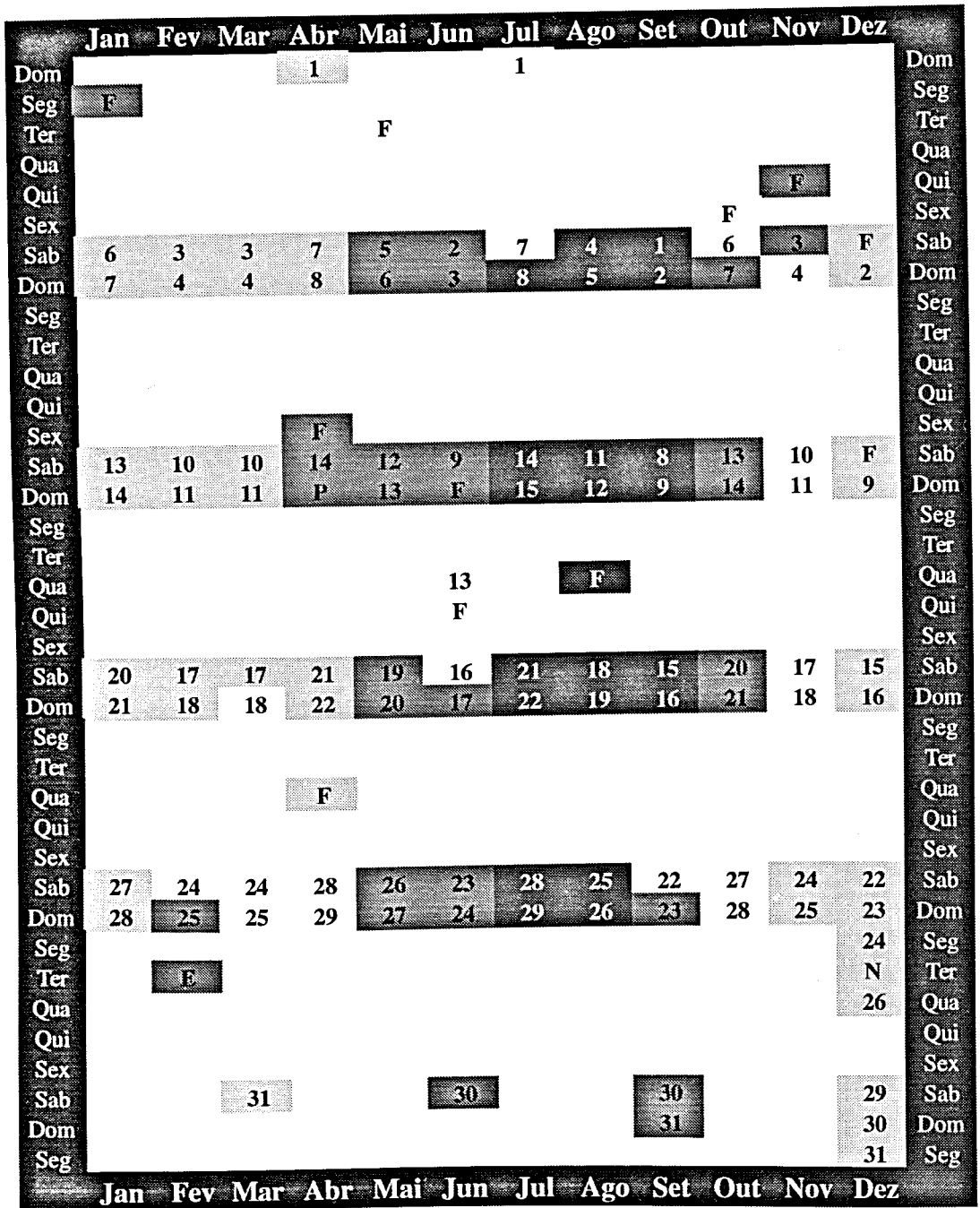


Figura 5.13: Divisão dos s+d+fe de 1990 em 3 agrupamentos "Puros"

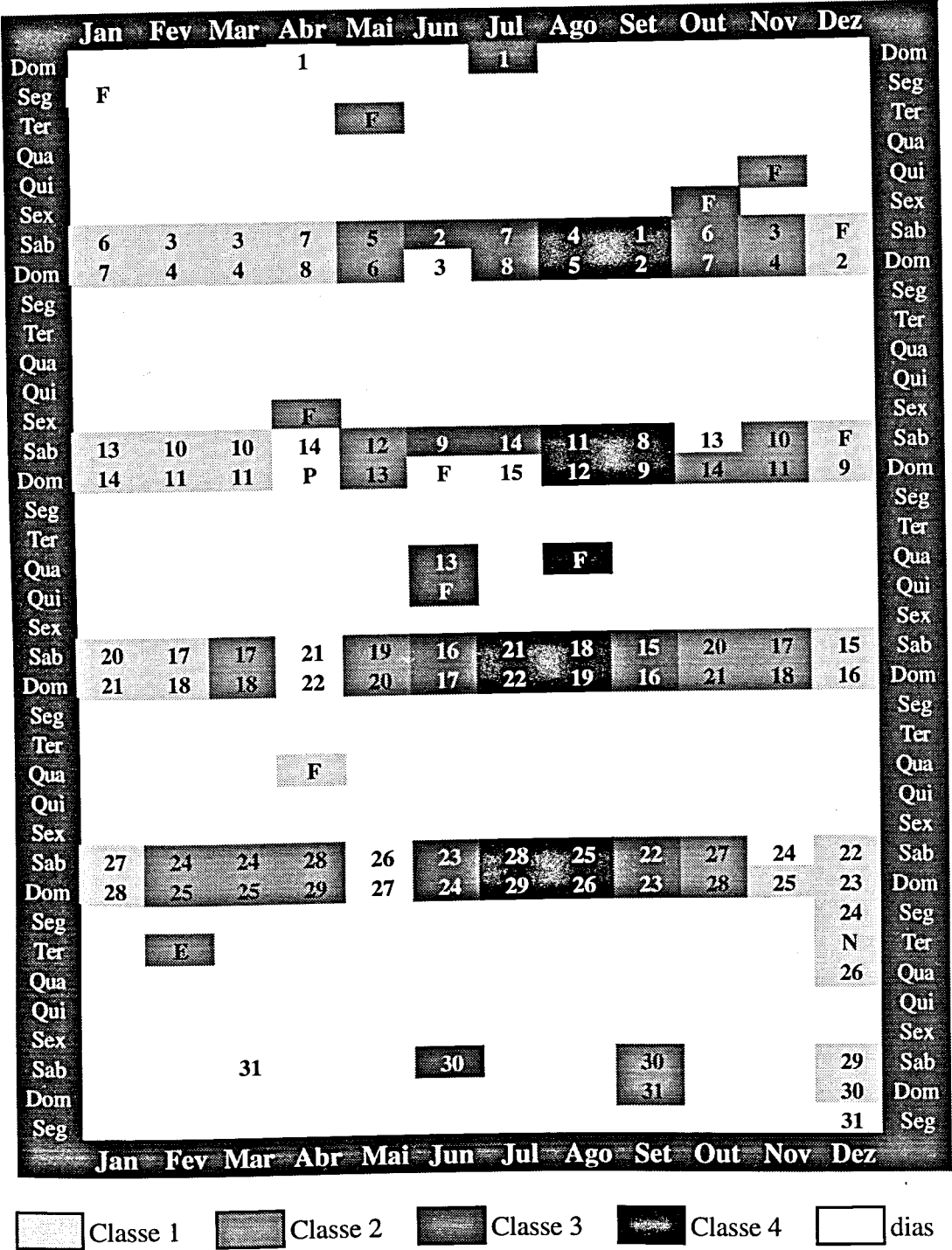


Figura 5.14: Divisão dos s+d+fe de 1990 em 4 agrupamentos "Puros"

Para finalizar, é importante analisar e comparar os critérios de validação para a divisão dos s+d+fe do ano em 2 a 8 agrupamentos. Mas, por exemplo, da análise da Tabela 5.4 (critérios de validação para a divisão de 1990 em 2 a 8 agrupamentos) não é possível garantir que a melhor escolha é a divisão em dois agrupamentos devido à monotonia dos critérios de validação em relação ao número de agrupamentos, ou se a escolha recai em 3, 4 ou mais agrupamentos.

nº de agrups.	Coef. de partição F	Entropia de partição H	índice de aglom. I
2	0.9128	0.06559	0.2266
3	0.8438	0.1194	0.2965
4	0.7997	0.1620	0.3249
5	0.7674	0.1956	0.3511
6	0.7480	0.2211	0.3590
8	0.7043	0.2677	0.4001

Tabela 5.4: Evolução da percentagem de rejeitados em relação ao nível de corte, na divisão dos s+d+fe de 1990 em 2 a 8 agrupamentos.

5.2 Conclusões

Da análise dos resultados de todas as experiências efectuadas foram extraídas as seguintes conclusões:

- Existe uma divisão clara do ano em dias úteis e s+d+fe;
- Tanto os dias úteis como os s+d+fe separam-se de uma forma análoga quando divididos em 2 a 4 agrupamentos;
- A partir da divisão dos du e dos s+d+fe em 4 agrupamento emerge o grupo especial das férias de Agosto.
- O FCM consegue diferenciar os Sábados dos Domingos, apesar de considerar mais importante a divisão do ano em Inverno, Primavera-Outono, Verão e Agosto;
- O FCM não consegue diferenciar a época de Primavera da época de Outono.

Como resultado dos ensaios de agrupamentos efectuados e tendo em conta outras variáveis explicativas, tais como a temperatura e as migrações anuais decidimos dividir o ano nas classes de Sábados, Domingos e dias úteis (extraíndo os feriados e dias influenciados por feriados) e dividir cada uma destas classes em 4 agrupamentos: Inverno, Primavera-Outono, Verão (sem Agosto) e Agosto.

A influência das migrações das populações da área de Lisboa, na época de férias de Agosto, no consumo de gás em Lisboa e a influência climatérica foram decisivos para a nossa escolha recair na divisão do ano em Inverno, Primavera-Outono, Verão (sem Agosto) e Agosto. Posteriormente estudos complementares, nomeadamente com a comparação dos resultados obtidos com as fórmulas de regressão para as diversas divisões do ano em padrões típicos de consumo, confirmaram a validade da escolha.

Para cada partição (com excepção do agrupamento especial de feriados, que recebe um tratamento especial, devido à escassez de informação disponível) procedeu-se à definição de conjuntos rígidos excluindo deles todos os dias cuja função de pertença μ ao protótipo do agrupamento é menor que um certo limite μ_{ref} . Isto permite-nos a interpretação que cada um destes conjuntos rígidos são representativos de comportamentos "puros".

Capítulo 6

Modelos de previsão para cada padrão típico de consumo

Neste capítulo são apresentados os modelos de previsão desenvolvidos (baseados em multi-regressão linear) para cada padrão de comportamento, extraídos como protótipos ("cluster center") das partições obtidas na análise de agrupamentos (apresentada no Capítulo 5).

Na Secção 6.1 são descritos os modelos de previsão desenvolvidos (baseados em multi-regressão linear) para cada padrão de comportamento.

Na Secção 6.2 é feita a comparação do resultado dos modelos desenvolvidos com um modelo trivial, na previsão do consumo de gás em 1990.

As conclusões são apresentadas na Secção 6.3.

6.1. Construção dos modelos de previsão

Em multi-regressão, uma equação que expressa a resposta como uma função linear de p preditores é estimada usando os dados observados. O modelo é especificado por uma equação linear,

$$Y = \theta_0 + \theta_1 X_1 + \theta_2 X_2 + \dots + \theta_p X_p + \varepsilon \quad (6.1)$$

onde os θ 's são parâmetros não conhecidos, os ε 's são erros estatísticos, Y a resposta e $X_1, X_2, \dots, X_p$ são os preditores.

Para a previsão dos consumos de gás, os parâmetros $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_p$ são estimados de modo a minimizar a soma pesada dos quadrados das diferenças [2] entre o consumo, ou pico de consumo, actual e o consumo previsto, isto é:

$$J = \sum_i W_i \cdot [P_i^{\text{est}} - P_i]^2 \quad (6.2)$$

onde

i = dia i do conjunto de treino (ou conjunto de derivação)

P_i é o consumo (ou pico) actual no dia i ,

P_i^{est} é o consumo estimado no dia i e

W_i é um peso dado pela seguinte fórmula:

$$W_i = \min \left\{ 1, \frac{e_{\max}}{e_i} \right\}, \quad e_i = \frac{|P_i^{est'} - P_i|}{P_i}$$

$P_i^{est'}$ é o consumo estimado no dia i , com o mesmo dia retirado do conjunto de treino.

Isto garante que qualquer dia (do conjunto de derivação) com erro de previsão maior de que $e_{\max}$ é aferido com peso inversamente proporcional ao erro cometido.

O uso do método dos mínimos quadrados pesado permite, assim, minimizar o efeito negativo que certos dias (tais como os dias com consumos ou temperaturas anormais para a época do ano, ou até com dados históricos errados) têm no resto do conjunto de derivação. Esta metodologia permite reforçar a purificação efectuada aos padrões típicos de consumo. A previsão de consumo (P_i^{est}) é dada como uma função de consumos históricos, temperaturas históricas e previsão da temperatura do dia i . Para reduzir a sensibilidade do modelo de previsão aos erros da previsão de temperatura foi adoptada a técnica descrita em [2], com bons resultados, que consiste no seguinte:

- As previsões de temperatura podem ser interpretadas como a temperatura real mais um componente de ruído v (o erro de previsão de temperatura). Isto sugere que no processo de previsão de parâmetros é apropriado adicionar um ruído similar e substituir a temperatura do dia que vai ser previsto, T_i , por $T_i + v$. Este conceito é implementado deterministicamente criando-se duas pseudo-observações a partir de uma observação original, isto é, dois dias para cada dia do conjunto de dados: um com a temperatura ajustada para cima por v e outra ajustada para baixo pelo mesmo valor.

Esta técnica de "duplicação" permite minimizar a soma pesada dos quadrados na forma:

$$J = \sum_i W_i \cdot \left\{ [P_i^{est}(T_i + v) - P_i]^2 - [P_i^{est}(T_i - v) - P_i]^2 \right\} \quad (6.3)$$

De modo a se minimizar ou maximizar a importância da temperatura atmosférica (foram feitas experiências com a temperatura média diária e com a máxima diária) nas fórmulas de regressão é, também, apropriado substituir as temperaturas, T (temperaturas médias ou máximas), utilizadas como preditores, por T^{Exp} . Temos, então, que as formulas são função dos parâmetros: v , $e_{\max}$, Exp , tendo sido ensaiados os seguintes valores discretos:

desvios de temperatura v (em graus): 0.0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 5.0, 7.0, 10.0;

valores de $e_{\max}$ (em percentagem): 100, 10, 6, 5, 3, 2, 1

e seguintes valores de Exp : 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 20.0

6.1.1. Estratégias de Validação

De modo a se obter as melhores fórmulas de previsão foram definidos vários critérios de aceitação ou rejeição:

- O primeiro critério de aceitação ou rejeição dos parâmetros e fórmulas de previsão corresponde a não aceitar processos de previsão que conduzem a resultados não melhores do que os obtidos com a previsão trivial.
- O segundo critério utilizado é o critério do coeficiente de determinação
- O terceiro critério consistiu em escolher de entre os processos de previsão o que obtinha os melhores resultados através do cálculo do erro médio do conjunto de validação.

O critério do coeficiente de determinação [30] só permite atingir conclusões válidas para conjuntos de dados suficientemente grandes. Após a análise dos resultados das fórmulas de regressão testadas, verificou-se que o terceiro critério conduziria a resultados análogos, pelo que passamos a utilizar o terceiro critério.

6.1.2. Simbologia utilizada

"d" - dia actual

"d-1" - a um dia do dia actual

"d-p" - a p dias do dia actual ($p > 0$)

"d+1" - dia seguinte ao dia actual

"d+2" - dois dias depois do dia actual

C_{d-p} - volume total de gás consumido no dia "d-p"

P_{d-p} - ponta horária de gás consumido no dia "d-p"

t_{d-p} - temperatura (média ou máxima) atmosférica ocorrida no dia "d-p"

$f()$ - fórmula de regressão

PC_d - previsão do volume total de gás a consumir no dia actual

Pt_d - previsão da temperatura (média ou máxima) atmosférica a ocorrer no dia actual

PC_{d+1} - previsão do volume total de gás a consumir no dia "d+1"

PP_{d+1} - previsão da ponta horária de gás a consumir no dia "d+1"

Pt_{d+1} - previsão da temperatura (média ou máxima) atmosférica a ocorrer no dia "d+1"

PC_{d+2} - previsão do volume total de gás a consumir no dia "d+2"

Pt_{d+2} - previsão da temperatura (média ou máxima) atmosférica a ocorrer no dia "d+2"

6.1.3. Previsão para o dia "d+1" do volume total de gás a ser consumido

Nesta secção são apresentadas as melhores formulações desenvolvidas para a previsão, para o dia "d+1", do volume total de gás a ser consumido ter como dados históricos as temperaturas e consumos anteriores ao dia "d".

Estando o utilizador situado no ano "a", mês "m" e dia "d", os consumos históricos disponíveis para a fórmula de regressão são os consumos anteriores ao dia "d". Devido à proximidade cronológica, o consumo e a temperatura do dia "d-1" são parâmetros que podem ser fundamentais para uma boa previsão. Contudo, na previsão do consumo dos dias úteis, se introduzirmos estes dados nas fórmulas de previsão, é necessário acrescentar informações sobre o dia da semana (ou padrão de consumo) dos mesmos. Uma alternativa é separar o agrupamento dos dias úteis (du) em Segundas, Terças e restantes dias. Assim, por exemplo, para a previsão das Quartas, Quintas e Sextas, se for utilizado o consumo verificado na antevéspera como parâmetro da fórmula de regressão, temos todos os consumos históricos com o mesmo padrão de consumo.

A decisão final foi, então, considerar a partição de cada um dos agrupamentos (Inverno, Primavera-Outono, Verão e Agosto) nas seguintes classes:

Classe 1: Sábados "normais" (sábados não influenciados por feriados)

Classe 2: Domingos "normais";

Classe 3: Segundas-feira "normais";

Classe 4: Terças-feiras "normais";

Classe 5: Restantes dias de trabalho "normais"

Previsão trivial

De modo a testar a validade das metodologias desenvolvidas foi necessário comparar os resultados obtidos com os resultados do uso de um "método de previsão trivial" que consiste em considerar que o consumo a prever é igual a um determinado consumo histórico.

Na tabela 6.5 podemos observar as fórmulas triviais para a previsão do volume total de gás a ser consumido no dia "d+1" (para cada dia da semana).

Dia de semana	Previsão trivial
Segunda-feira	$PC_{d+1}=C_{d-2}$ (Previsão do consumo da Segunda-feira igual ao consumo da Sexta-feira anterior)
Terça-feira	$PC_{d+1}=C_{d-3}$ (Previsão do consumo da Terça-feira igual ao consumo da Sexta-feira anterior)
Quarta-feira	$PC_{d+1}=C_{d-1}$ (Previsão do consumo da Quarta-feira igual ao consumo da Segunda-feira anterior)
Quinta-feira	$PC_{d+1}=C_{d-1}$ (Previsão do consumo da Quinta-feira igual ao consumo da Terça-feira anterior)
Sexta-feira	$PC_{d+1}=C_{d-1}$ (Previsão do consumo da Sexta-feira igual ao consumo da Quarta-feira anterior)
Sábado e Domingo	$PC_{d+1}=C_{d-6}$ (Previsão do consumo igual ao consumo da Semana anterior)

Tabela 6.5 : Fórmulas triviais para a previsão do volume total de gás a ser consumido no dia "d+1"

Previsão do consumo em dias "normais"

Devido à existência de consumos "anormais" (feriados ou dias influenciados por feriados), foi necessário fazer um estudo separado para esses mesmos dias.

Nesta secção são apresentadas, então, as melhores fórmulas de previsão deduzidas para cada Classe de dias "normais" (Classe 1 a 5) nas diversas épocas do ano (Inverno, Primavera-Outono, Verão e Agosto).

Para desenvolvimento das fórmulas foi utilizado para conjunto de treino o ano de 1991. Para os agrupamentos de Verão e Agosto das Classes 1 a Classe 4, foi necessário, contudo, acrescentar o ano de 1989 devido à escassez de dados. Para conjunto de teste foram utilizados, separadamente, os anos de 1990 e 1992.

Na tabela 6.6 podem-se observar as principais fórmulas testadas para a previsão do volume diário de gás consumido no dia seguinte (em dias "normais").

Como podemos ver da Tabela 6.6 foram ensaiadas diversas fórmulas combinando a temperatura atmosférica com o consumo diário de gás. Por, exemplo, a fórmula 5 consiste em, estando o utilizador no dia "d", prever o volume total de consumo de gás do dia seguinte ("d+1") tendo como dados o volume total de consumo de gás e a temperatura atmosférica (média ou máxima) dum dia anterior ao actual ("d-p").

Fórmulas de previsão	
Nº	Fórmula
1	$PC_{d+1} = f(t_{d-p}) \quad (p>0)$
2	$PC_{d+1} = f(t_{d-p}, Pt_{d+1})$
3	$PC_{d+1} = f(C_{d-p})$
4	$PC_{d+1} = f(C_{d-p}, t_{d-p})$
5	$PC_{d+1} = f(C_{d-p}, Pt_{d+1})$
6	$PC_{d+1} = f(C_{d-p}, t_{d-p}, Pt_{d+1})$
7	$PC_{d+1} = f(C_d, t_d, Pt_{d+1})$ $C_d = f(PC_{d-1}, t_{d-1}, t_d)$

Tabela 6.6: Fórmulas testadas para a previsão do volume diário de gás consumido no dia seguinte (em dias "normais")

Estudou-se, também, a influência das pontas horárias na previsão do consumo diário de gás, contudo esta influência mostrou não ser significativa para a previsão dos consumos em dias normais.

Feita a análise dos resultados obtidos com as diversas formulações na previsão de 1990 e 1992 (na secção 6.2.1 estão apresentados os resultados das melhores formulações desenvolvidas para a previsão dos dias de 1990) observou-se que as melhores formulações deduzidas foram as seguintes:

Classe 1 a Classe 4

$PC_{d+1} = f(C_{d-p}, t_{d-p}, Pt_{d+1}), p>0$

Consiste em prever o consumo de gás dum dia tendo como dados o consumo e temperatura dum dia anterior à véspera e a previsão da temperatura do dia

Classe 5

$PC_{d+1} = f(PC_d, t_d, Pt_{d+1})$

$PC_d = f(C_{d-1}, t_{d-1}, Pt_d)$

Consiste em prever o consumo de um dia tendo previamente previsto o consumo da véspera.

Verificou-se não ser possível encontrar valores constantes para os parâmetros da fórmula de regressão. Por exemplo, para os Sábados de Inverno de 1990 e 1992 a melhor fórmula de previsão foi a fórmula 6 (ver Tabela 6.6), mas enquanto que para os Sábados de Inverno de 1990 foram considerados o volume total de consumo, a temperatura média do Sábado

anterior e a previsão da temperatura média do Sábado a prever (com os valores de v , e_{max} , Exp e p iguais a 7.0, 0.05, 2.0 e 6 respectivamente), para os Sábados de Inverno de 1992 foram considerados o volume total de consumo, a temperatura média da antevéspera e a previsão da temperatura média do sábado a prever (com os valores de v , e_{max} , Exp e p iguais a 0.0, 0.03, 0.01 e 1 respectivamente).

Os parâmetros deverão, então, ser aferidos pelo algoritmo final de modo a otimizar a fórmula de regressão para cada caso em particular.

Previsão do consumo em dias feriados e dias próximos

A insuficiência de dados passados (1987 a 1992) apresentou severas dificuldades no desenvolvimento de fórmulas de previsão que acompanhassem o consumo nos dias feriados e dias envoltentes (**Classe 6**). A escassez de dados disponíveis não nos permitiu dispor de um conjunto de derivação e de um conjunto de validação. Sendo assim, o nossos estudos para os dias "feriados" basearam-se nos resultados obtidos no conjunto de derivação. Contudo, com os dados disponíveis fez-se um estudo exaustivo do consumo nesses dias.

A primeira parte do estudo consistiu em identificar os feriados de 1987 a 1992 (nacionais e regionais):

Feriados nacionais

Solenidade de Santa Mãe de Deus	1 de Janeiro
Entrudo	Festa Móvel
Sexta-feira Santa	Festa Móvel
Dia da Liberdade	25 de Abril
Festa do Trabalho	1 Maio
Corpo de Deus	Festa Móvel
Dia de Portugal	10 de Junho
Assunção de Nossa Senhora	15 de Agosto
Implantação da República	5 de Outubro
Todos os Santos	1 de Novembro
Restauração da Independência	1 de Dezembro
Imaculada Conceição	8 de Dezembro
Natal	25 de Dezembro

Feriados regionais

Santo António

13 de Junho

Do estudo destes feriados extraiu-se imediatamente as seguintes classes devido às suas características especiais (feriados móveis):

Entrudo

Corpo de Deus

Sexta-feira Santa

O facto dos feriados móveis acontecerem em dias de semana fixos, define um padrão típico de consumo. Apesar de não acontecerem, sempre, no mesmo dia de semana, concluiu-se que os seguintes feriados definem, também, um padrão típico de consumo:

1 Janeiro

13 Junho

25 Dezembro

Os restantes feriados foram reagrupados segundo o dia da semana, isto é, foram reagrupados nas seguintes classes:

Feriado à Segunda-feira

Feriado à Terça-feira

Feriado à Quarta-Feira

Feriado à Quinta-feira

Feriado à Sexta-feira

Feriado ao Sábado

Feriado ao Domingo

Foi também feito um estudo, com os dados disponíveis, aos dias envolventes. Na tabela 6.7 podemos ver os dias que nos pareceram ser influenciados pelos respectivos feriados.

Depois do agrupamento dos dias "feriados" em classes, procedeu-se ao desenvolvimento de fórmulas de previsão. Das muitas fórmulas ensaiadas, para a previsão do consumo em feriados e dias próximos, destacaram-se as seguintes (ver secção 6.2.1 - dias feriados):

$$1 - PC_{d+1} = f(C_{d-p}, t_{d-p}, Pt_{d+1}), p > 0$$

Consiste em prever o consumo de gás dum dia tendo como dados o consumo e temperatura dum dia anterior à véspera e a previsão da temperatura do dia.

$2 - PC_{d+1} = f(C_{d-p}, t_{d-p}, Pt_{d+1}), p>0$

Consiste em prever o consumo de gás dum dia tendo como dados a ponta de consumo e temperatura dum dia anterior à véspera e a previsão da temperatura do dia.

Feriado	Dias influenciados
1 de Janeiro	dias 2 a 7 de Janeiro (<i>inclusive</i>)
13 de Junho	dias 12, 13 e 14 de Junho
25 de Dezembro	dia 24 e dias 26 a 31 de Dezembro
Entrudo	Sábado a Segunda-feira anterior e Quarta e Quinta-feira posterior ao feriado
Corpo de Deus	Sexta a Terça-feira posterior ao feriado
Sexta-feira Santa	Sábado a Terça-feira posterior ao feriado
Segunda-feira	Sábado e Domingo anterior e Terça e Quarta-feira posterior ao feriado
Terça-feira	Sábado a Segunda-feira anterior e Quarta e Quinta-feira posterior ao feriado
Quarta-feira	Quinta e Sexta-feira posterior ao feriado
Quinta-feira	Sexta a Terça-feira posterior ao feriado
Sexta-feira	Sábado a Terça-feira posterior ao feriado
Sábado	Domingo a Terça-feira posterior ao feriado
Domingo	Sábado anterior e Segunda a Terça-feira posterior ao feriado

Tabela 6.7: Dias influenciados por Feriados

6.1.4. Previsão para o dia "d+1" da ponta horária de gás a ser consumido

Nesta secção são apresentadas as melhores formulações desenvolvidas para a previsão, para o dia "d+1", da ponta horária de gás a ser consumido.

Previsão trivial

Na tabela 6.8 podemos ver as fórmulas triviais para a previsão da ponta horária de gás a ser consumido no dia "d+1" (para cada dia da semana).

Dia de semana	Previsão trivial
Segunda-feira	$PP_{d+1}=P_{d-2}$ (Previsão da ponta horária de consumo da Segunda-feira igual à ponta horária de consumo da Sexta-feira anterior)
Terça-feira	$PP_{d+1}=P_{d-3}$ (Previsão da ponta horária de consumo da Terça-feira igual à ponta horária de consumo da Sexta-feira anterior)
Quarta-feira	$PP_{d+1}=P_{d-1}$ Previsão da ponta horária de consumo da Quarta-feira igual à ponta horária de consumo da Segunda-feira anterior)
Quinta-feira	$PP_{d+1}=P_{d-1}$ (Previsão da ponta horária de consumo da Quinta-feira igual à ponta horária de consumo da Terça-feira anterior)
Sexta-feira	$PP_{d+1}=P_{d-1}$ (Previsão da ponta horária de consumo da Sexta-feira igual à ponta horária de consumo da Quarta-feira anterior)
Sábado e Domingo	$PP_{d+1}=P_{d-6}$ (Previsão da ponta horária de consumo igual à ponta horária de consumo da Semana anterior)

Tabela 6.8 : Fórmulas triviais para a previsão da ponta horária de gás ser consumido no dia "d+1"

Previsão da ponta horária de consumo de gás em dias "normais"

Para a previsão da ponta de consumo de gás foi seguido a mesma metodologia utilizada nos ensaios para a previsão do consumo diário.

Nesta secção são apresentadas, então, as melhores fórmulas de previsão deduzidas para cada Classe de dias "normais" (Classe 1 a 5) nas diversas épocas do ano (Inverno, Primavera-Outono, Verão e Agosto).

Para desenvolvimento das fórmulas foram utilizados para conjunto de treino o ano de 1991. Para os agrupamentos de Verão e Agosto das Classes 1 a Classe 4, foi necessário, contudo, acrescentar o ano de 1989 devido à escassez de dados. Para conjunto de teste foram utilizados, separadamente, os anos de 1990 e 1992.

Na tabela 6.9 pode-se observar as principais fórmulas testadas para a previsão da ponta horária de gás consumido no dia seguinte (em dias "normais").

Fórmulas de previsão	
Nº	Fórmula
1	$PP_{d+1} = f(C_{d-p}) \quad (p>0)$
2	$PP_{d+1} = f(C_{d-p}, P_{d-p}, t_{d-p}, Pt_{d+1})$
3	$PP_{d+1} = f(C_{d-p}, t_{d-p})$
4	$PP_{d+1} = f(P_{d-p})$
5	$PP_{d+1} = f(P_{d-p}, t_{d-p})$
6	$PP_{d+1} = f(C_{d-p}, t_{d-p}, Pt_{d+1})$
7	$PP_{d+1} = f(C_{d-p}, P_{d-p})$
8	$PP_{d+1} = f(P_{d-p}, t_{d-p}, Pt_{d+1})$
9	$PP_{d+1} = f(C_{d-p}, P_{d-p}, t_{d-p})$

Tabela 6.9: Fórmulas testadas para a previsão da ponta horária de gás consumido no dia seguinte (em dias "normais")

Feita a análise dos resultados obtidos com as diversas formulações na previsão de 1990 e 1992 (no Capítulo 6 estão apresentados os resultados das melhores formulações desenvolvidas para a previsão dos dias de 1990), concluiu-se que para a previsão das pontas horárias não se obtinham fórmulas homogêneas para todas as classes em todas as épocas. Pelo contrário, as melhores fórmulas deduzidas para os dias de 1990 não foram as melhores para a previsão dos dias de 1992.

Foi necessário proceder a ensaios suplementares, nomeadamente com a utilização do algoritmo final de previsão (apresentado no capítulo 7). Foram, então, testadas (utilizando o algoritmo de previsão) todas as fórmulas (apresentadas na Tabela 6.9) na previsão das pontas horárias de consumo de gás nos dias de 1990 e 1992 (na Tabela 6.10 podemos ver as fórmulas escolhidas).

	Fórmula de previsão			
	Inverno	Primavera -Outono	Verão	Agosto
Classe 1	5	3	2	5
Classe 2	6	2	2	3
Classe 3	2	4	6	5
Classe 4	6	3	6	7
Classe 5	1	2	3	4

Tabela 6.10: Fórmulas para a previsão da ponta horária de gás consumido no dia seguinte (em dias "normais")

Previsão do consumo em dias feriados e dias próximos

Para a previsão da ponta de consumo de gás nos dias "feriados" foi seguido a mesma metodologia utilizada nos ensaios para a previsão do consumo diário.

Depois do agrupamento dos dias "anormais" em classes (ver secção anterior), procedeu-se ao desenvolvimento de fórmulas de previsão. Das muitas fórmulas ensaiadas, para a previsão do consumo em feriados e dias próximos, destacaram-se as seguintes:

1 - $PP_{d+1} = f(C_{d-p}, t_{d-p}, Pt_{d+1})$

Consiste em prever a ponta horária de consumo de gás dum dia tendo como dados o consumo e temperatura dum dia anterior à véspera e a previsão da temperatura do dia.

2 - $Pp_{d+1} = f(C_{d-p}, t_{d-p}, Pt_{d+1})$

Consiste em prever a ponta horária de consumo de gás dum dia tendo como dados a ponta de consumo e temperatura dum dia anterior à véspera e a previsão da temperatura do dia.

6.1.5. Previsão para o dia "d+2" do volume total de gás a ser consumido

Nesta secção são apresentadas as melhores formulações desenvolvidas para a previsão, para o dia "d+2", do volume total de gás a ser consumido.

Previsão trivial

Na Tabela 6.11 estão apresentadas as fórmulas triviais para a previsão da ponta horária de gás a ser consumido no dia "d+2" .

Dia de semana	Previsão trivial
Segunda-feira	$PC_{d+1}=C_{d-2}$ (Previsão do consumo da Segunda-feira igual ao consumo da Sexta-feira anterior)
Terça-feira	$PC_{d+1}=C_{d-3}$ (Previsão do consumo da Terça-feira igual ao consumo da Sexta-feira anterior)
Quarta-feira	$PC_{d+1}=C_{d-4}$ (Previsão do consumo da Quarta-feira igual ao consumo da Sexta-feira anterior)
Quinta-feira	$PC_{d+1}=C_{d-2}$ (Previsão do consumo da Quinta-feira igual ao consumo da segunda-feira anterior)
Sexta-feira	$PC_{d+1}=C_{d-2}$ (Previsão do consumo da Sexta-feira igual ao consumo da Terça-feira anterior)
Sábado e Domingo	$CP_{d+1}=C_{d-6}$ (Previsão do consumo igual ao consumo da Semana anterior)

Tabela 6.11 : Fórmulas triviais para a previsão do volume total de gás a ser consumido no dia "d+2"

Previsão do consumo em dias "normais"

Para a previsão do volume total de gás consumido em dias "normais" foram ensaiadas as seguintes duas fórmulas:

$$1 - PC_{d+1} = f(C_{d-p-1}, t_{d-p-1}, Pt_{d+1}), p > 0$$

Consiste em prever o consumo de gás dum dia tendo como dados o consumo e temperatura dum dia anterior à antevéspera e a previsão da temperatura do dia.

$$2 - PC_{d+1} = f(PC_d, Pt_d, Pt_{d+1}), p > 0$$

Consiste em prever o consumo de gás dum dia tendo previamente obtido a previsão do consumo de gás do dia anterior com as fórmulas apresentadas na secção 6.4.2

tendo sido escolhida a segunda, por oferecer melhores resultados.

Analogamente, ao caso da previsão do volume total de consumo do dia "d+1" e a previsão da ponta horária de consumo do dia "d+1", os parâmetros das fórmulas de regressão serão aferidos pelo algoritmo entretanto desenvolvido.

Previsão do consumo em dias feriados e dias próximos

Para a previsão da ponta de consumo de gás nos dias "feriados" foi seguida a mesma metodologia utilizada nos ensaios para as previsões do tipo a) e do tipo b).

Depois do agrupamento dos dias "anormais" em classes (ver secção 6.1.2), procedeu-se ao desenvolvimento de fórmulas de previsão. Das muitas fórmulas ensaiadas, para a previsão do consumo em feriados e dias próximos, destacam-se as seguintes:

$$1 - PP_{d+1} = f(C_{d-p-1}, t_{d-p-1}, Pt_{d+1}), p > 0$$

Consiste em prever a ponta horária de consumo de gás dum dia tendo como dados o consumo e temperatura dum dia anterior à antevéspera e a previsão da temperatura do dia.

$$2 - PP_{d+1} = f(C_{d-p-1}, t_{d-p-1}, Pt_{d+1})$$

Consiste em prever a ponta horária de consumo de gás dum dia tendo como dados a ponta de consumo e temperatura dum dia anterior à antevéspera e a previsão da temperatura do dia.

6.2. Resultados

Para podermos encontrar as melhores fórmulas de previsão para cada classe (Sábados, Domingos, Segundas-feiras, Terças-feiras, restantes dias da semana e "Feriados") de cada época do Ano (Inverno, Primavera-Outono, Verão e Agosto) foi necessário comparar diversas fórmulas para as mesmas classes, não podendo a fórmula escolhida produzir resultados piores que com a fórmula trivial.

Nesta secção são apresentados os resultados das melhores formulações desenvolvidas para a previsão (do volume diário e ponta de consumo do dia seguinte) para as classes de 1990, comparando-os com o método trivial.

6.2.1. Previsão do volume diário de Gás consumido no dia seguinte

Consumo em dias normais

Nesta secção apresentam-se os resultados das melhores fórmulas desenvolvidas (descritas na Tabela 6.6) para a previsão do volume diário de gás consumido no dia seguinte (para os dias "normais" de 1990). É feita uma comparação destes resultados com os da previsão trivial.

Classe	Época	Fórmula de Previsão				Prev. trivial		
		Nº/p	Em	EM	RMSE	Em	EM	RMSE
	INVERNO	6 / 6	1.6%	5.9%	2.2%	4.8%	13.3%	5.8%
	PRIM-OUTO	6 / 6	2.7%	6.4%	3.3%	6.0%	16.2%	7.6%
Classe1	VERAO	6 / 1	1.3%	5.3%	2.2%	7.5%	13.8%	8.3%
	AGOSTO	6 / 1	0.5%	1.8%	0.9%	9.2%	21.7%	12.2%
	INVERNO	6 / 1	1.9%	4.4%	2.2%	6.2%	20.4%	8.3%
	PRIM-OUTO	6 / 1	2.3%	5.9%	2.9%	4.9%	13.1%	6.3%
Classe2	VERAO	6 / 1	1.7%	4.2%	2.1%	8.9%	21.1%	10.5%
	AGOSTO	6 / 1	0.5%	1.4%	0.8%	8.6%	24.0%	12.4%
	INVERNO	6 / 1	2.2%	4.2%	2.7%	2.7%	8.0%	3.3%
	PRIM-OUTO	6 / 1	1.8%	4.2%	2.2%	6.7%	12.2%	7.3%
Classe3	VERAO	6 / 2	1.0%	2.8%	1.4%	4.2%	10.1%	5.5%
	AGOSTO	6 / 2	0.7%	1.8%	1.0%	3.4%	10.6%	5.4%
	INVERNO	6 / 6	2.3%	5.2%	3.1%	2.9%	8.4%	3.6%
	PRIM-OUTO	6 / 2	2.0%	7.2%	2.8%	3.4%	5.0%	3.6%
Classe4	VERAO	6 / 3	0.7%	1.7%	1.0%	4.1%	9.1%	4.8%
	AGOSTO	6 / 3	0.6%	1.4%	0.8%	4.7%	13.3%	6.9%
	INVERNO	7 / 1	1.4%	4.3%	1.8%	2.2%	7.6%	2.9%
	PRIM-OUTO	7 / 1	1.2%	4.5%	1.5%	1.6%	6.9%	2.2%
Classe5	VERAO	7 / 1	2.1%	6.6%	2.9%	3.1%	7.3%	4.1%
	AGOSTO	7 / 1	3.7%	7.2%	4.3%	4.1%	12.8%	5.2%

Tabela 6.12: Comparação da melhor fórmula deduzida para a previsão do volume diário de gás consumido no dia seguinte em 1990 com a fórmula trivial

Na Tabela 6.12 podemos visualizar os resultados das melhores fórmulas para a previsão do consumo de gás para as classes do ano de 1990 e resultados do método trivial para as mesmas classes. Podemos observar que as fórmulas desenvolvidas, para a previsão dos dias "normais", obtêm resultados muito melhores do que com a utilização da previsão trivial, nomeadamente na previsão do consumo aos Sábados e aos Domingos. Verifica-se também que para os dias de Classe 1 a 4 inclusive a melhor fórmula deduzida foi a fórmula $PC_{d+1} = f(C_{d-p}, t_{d-p}, Pt_{d+1})$, isto é consiste em prever o consumo de gás dum dia tendo como dados o consumo e temperatura da antevéspera e a previsão da temperatura do dia

Dias "feriados"

Devido à escassez de dados disponíveis para se dispor de um conjunto de validação não foi possível, nesta dissertação, testar as fórmulas desenvolvidas para a previsão de dias "feriados" (dias feriados ou dias influenciados por feriados). Sendo assim, só podemos referir os resultados das fórmulas no conjunto de derivação.

Nas Tabelas 6.14A e 6.14B podemos observar o erro padrão da estimativa do consumo (raiz do erro quadrático médio - RMSE) das melhores fórmulas desenvolvidas (ver Tabela 6.13) para o conjunto de derivação (consumos diários de 1987 a 1992).

Fórmulas de previsão	
Nº	Fórmula
1	$PC_{d+1} = f(C_{d-p}, t_{d-p}, Pt_{d+1})$
2	$PC_{d+1} = f(P_{d-p}, t_{d-p}, Pt_{d+1})$

Tabela 6.13: Fórmulas testadas para a previsão do volume diário de gás consumido no dia seguinte (em dias "Feriados")

Pelo resultados apresentados, nas Tabelas 6.14A e 6.14B, leva-nos a crer que existem uma elevada correlação entre os dias da mesma classe. Por exemplo, para os dias 1 de Janeiro (de 1988 a 1992) o RMSE é inferior 0.01%. Contudo, temos que ter em conta que o conjunto de derivação tem, somente, 5 elementos e a fórmula ter 4 parâmetros. Há portanto a necessidade de, nos próximos anos, validarmos as fórmulas e porventura acrescentar novos dados ao conjunto de derivação (ou de treino) e recalculas as fórmulas de previsão.

Feriados	Dias a prever	Fórmula de Previsão	
		Nº/p	RMSE
1 Janeiro	1 Janeiro	1 / 6	0.01%
	2 Janeiro	2 / 2	0.00%
	3 Janeiro	1 / 1	0.03%
	4 Janeiro	2 / 1	0.00%
	5 Janeiro	2 / 3	0.00%
	6 Janeiro	1 / 6	0.00%
	7 Janeiro	1 / 5	0.00%
	8 Janeiro	1 / 6	0.00%
13 Junho	12 Junho	2 / 4	2.95%
	13 Junho	2 / 5	0.58%
	14 Junho	1 / 2	1.12%
	15 Junho	2 / 5	0.97%
Natal	24 Dezembro	2 / 3	0.36%
	25 Dezembro	1 / 4	0.08%
	26 Dezembro	2 / 1	2.66%
	27 Dezembro	2 / 2	0.70%
	28 Dezembro	1 / 5	0.46%
	29 Dezembro	2 / 6	0.62%
	30 Dezembro	2 / 1	0.04%
	31 Dezembro	1 / 2	0.04%
Entrudo	Sábado anterior	1 / 6	1.41%
	Domingo anterior	2 / 1	1.60%
	Segunda-feira anterior	1 / 2	0.10%
	Entrudo	2 / 3	0.26%
	Quarta-feira posterior	1 / 2	0.27%
	Quinta-feira posterior	1 / 6	0.28%
Corpo de Deus	Dia de Corpo de Deus	1 / 5	0.00%
	Sexta-feira posterior	1 / 5	0.18%
	Sábado posterior	1 / 6	0.20%
	Domingo posterior	2 / 6	0.12%
	Segunda-feira posterior	2 / 4	0.12%
	Terça-feira posterior	1 / 3	0.28%
Sexta-feira Santa	Sexta-feira Santa	1 / 1	0.33%
	Sábado posterior	1 / 6	0.06%
	Domingo posterior	1 / 6	0.17%
	Segunda-feira posterior	2 / 6	0.00%
	Terça-feira posterior	1 / 5	0.32%

Tabela 6.14A: Comparação da melhor fórmula deduzida para a previsão do volume diário de gás consumido no dia seguinte (dias "feriados") em 1990 com a fórmula trivial

Feriados	Di as influenciados	Fórmula de Previsão	
		Nº/p	RMSE
Segunda-feira	Sábado anterior	1 / 2	1.05%
	Domingo anterior	1 / 3	0.15%
	Segunda-feira	2 / 3	0.37%
	Terça-feira posterior	1 / 4	0.49%
	Quarta-feira posterior	1 / 6	0.05%
Terça-feira	Domingo anterior	2 / 6	0.72%
	Sábado anterior	1 / 2	2.35%
	Segunda-feira anterior	1 / 1	1.01%
	Terça-feira	1 / 1	1.10%
	Quarta-feira posterior	1 / 5	1.52%
	Quinta-feira posterior	2 / 5	2.60%
Quarta-feira	Quarta-feira	1 / 2	1.85%
	Quinta-feira posterior	2 / 2	1.46%
	Sexta-feira posterior	1 / 1	0.14%
Quinta-feira	Quinta-feira	1 / 1	0.42%
	Sexta-feira posterior	2 / 2	0.58%
	Sábado posterior	1 / 1	0.77%
	Domingo posterior	2 / 1	0.36%
	Segunda-feira posterior	1 / 4	0.44%
	Terça-feira posterior	2 / 5	0.03%
Sexta-feira	Sexta-feira	1 / 3	1.50%
	Sábado posterior	1 / 5	1.94%
	Domingo posterior	2 / 5	0.22%
	Segunda-feira posterior	1 / 2	0.14%
	Terça-feira posterior	1 / 3	0.05%
Sábado	Sábado	1 / 2	1.81%
	Domingo posterior	2 / 1	2.53%
	Segunda-feira posterior	1 / 4	0.45%
	Terça-feira posterior	1 / 2	1.67%
Domingo	Sábado anterior	1 / 4	0.57%
	Domingo	1 / 1	0.96%
	Segunda-feira posterior	1 / 5	0.55%
	Terça-feira posterior	2 / 1	0.08%

Tabela 6.14B: Comparação da melhor fórmula deduzida para a previsão do volume diário de gás consumido no dia seguinte (dias "feriados") em 1990 com a fórmula trivial

6.2.2. Previsão da ponta horária de Gás consumida no dia seguinte

Consumo em dias normais

Nesta secção apresentam-se os resultados das melhores fórmulas desenvolvidas (descritas na Tabela 6.9) para a previsão do consumo na ponta horária em 1990. É feita uma comparação destes resultados com os da previsão trivial.

Como se pode observar da Tabela 6.15 as fórmulas desenvolvidas, para a previsão da ponta horária de consumo nos dias "normais", obtêm resultados muito melhores que com a previsão trivial, nomeadamente na previsão do consumo aos Sábados e aos Domingos.

Classe	Época	Fórmula de Previsão				Prev. trivial		
		Nº/p	Em	EM	RMSE	Em	EM	RMSE
	INVERNO	5 / 6	2.5%	7.3%	3.3%	5.6%	17.5%	7.1%
	PRIM-OUTO	6 / 1	3.5%	11.7%	5.3%	8.1%	19.6%	10.1%
Classe1	VERAO	2 / 6	4.2%	11.3%	5.5%	11.7%	21.4%	13.2%
	AGOSTO	3 / 6	2.7%	5.1%	3.2%	12.7%	20.1%	13.6%
	INVERNO	6 / 6	4.2%	11.1%	5.0%	6.1%	21.5%	8.9%
	PRIM-OUTO	2 / 6	3.3%	10.5%	4.4%	6.7%	19.4%	8.4%
Classe2	VERAO	8 / 1	4.0%	12.6%	6.6%	11.6%	27.6%	14.2%
	AGOSTO	2 / 6	3.1%	5.1%	3.5%	14.1%	39.7%	20.8 %
	INVERNO	2 / 6	2.4%	6.9%	3.3%	11.3%	19.4%	12.9%
	PRIM-OUTO	6 / 6	4.0%	12.6%	5.3%	6.4%	17.6%	7.9%
Classe3	VERAO	6 / 6	3.3%	7.2%	4.0%	10.5%	24.5%	12.1%
	AGOSTO	3 / 6	2.8%	4.6%	3.2%	7.4%	11.3%	7.7%
	INVERNO	3 / 1	2.9%	7.9%	3.6%	6.7%	13.2%	8.1%
	PRIM-OUTO	2 / 3	2.5%	9.3%	4.1%	4.5%	9.7%	5.7%
Classe4	VERAO	6 / 6	3.0%	9.6%	4.5%	9.6%	19.8%	11.1%
	AGOSTO	5 / 3	2.5%	7.1%	3.7%	4.5%	13.3%	6.4%
	INVERNO	8 / 1	2.9%	8.9%	3.7%	4.0%	8.3%	4.5%
	PRIM-OUTO	5 / 1	3.1%	7.4%	3.9%	3.7%	7.0%	4.4%
Classe5	VERAO	8 / 1	2.1%	3.6%	2.4%	4.1%	7.4%	4.7%
	AGOSTO	5 / 1	1.8%	2.5%	1.9%	3.3%	3.8%	3.3%

Tabela 6.15: Comparação da melhor fórmula deduzida para a previsão da ponta horária de gás consumido no dia seguinte em 1990 com a fórmula trivial

Dias feriados

Nas Tabelas 6.17A e 6.17B podemos observar o erro padrão da estimativa do consumo (raiz do erro quadrático médio - RMSE) das melhores fórmulas desenvolvidas (ver Tabela 6.16) para o conjunto de derivação (consumos diários de 1987 a 1992).

Apesar dos resultados sugerirem uma elevada correlação entre os dias da mesma classe, temos que ter em conta que o conjunto de validação tem, somente, 5 elementos e a fórmula ter 4 parâmetros.

Fórmulas de previsão	
Nº	Fórmula
1	$PP_{d+1} = f(C_{d-p}, t_{d-p}, Pt_{d+1})$
2	$PP_{d+1} = f(P_{d-p}, t_{d-p}, Pt_{d+1})$

Tabela 6.16: Fórmulas testadas para a previsão da ponta horária de gás consumido no dia seguinte (em dias "Feriados")

Feriados	Dias a prever	Fórmula de Previsão	
		Nº/p	RMSE (%)
1 Janeiro	1 Janeiro	1 / 1	0.10%
	2 Janeiro	3 / 1	0.01%
	3 Janeiro	3 / 2	0.04%
	4 Janeiro	1 / 2	0.00%
	5 Janeiro	3 / 2	0.02%
	6 Janeiro	5 / 1	0.14%
	7 Janeiro	6 / 1	0.03%
	8 Janeiro	6 / 1	0.39%
13 Junho	12 Junho	2 / 2	2.19%
	13 Junho	3 / 2	0.65%
	14 Junho	6 / 1	1.98%
	15 Junho	5 / 2	0.15%
Natal	24 Dezembro	1 / 2	0.70%
	25 Dezembro	5 / 2	0.42%
	26 Dezembro	1 / 2	1.40%
	27 Dezembro	6 / 2	1.11%
	28 Dezembro	6 / 2	0.06%
	29 Dezembro	5 / 1	0.45%
	30 Dezembro	1 / 2	0.07%
	31 Dezembro	2 / 1	1.37%
Entrudo	Sábado anterior	4 / 2	2.57%
	Domingo anterior	6 / 2	1.58%
	Segunda-feira anterior	5 / 2	0.57%
	Entrudo	2 / 1	0.50%
	Quarta-feira posterior	5 / 2	0.26%
	Quinta-feira posterior	5 / 2	0.07%
Corpo de Deus	Dia de Corpo de Deus	5 / 2	0.01%
	Sexta-feira posterior	6 / 2	0.05%
	Sábado posterior	6 / 1	1.72%
	Domingo posterior	1 / 2	1.51%
	Segunda-feira posterior	1 / 1	0.12%
	Terça-feira posterior	5 / 2	0.07%
Sexta-feira Santa	Sexta-feira Santa	3 / 1	0.14%
	Sábado posterior	4 / 1	0.07%
	Domingo posterior	6 / 2	0.04%
	Segunda-feira posterior	6 / 1	0.06%
	Terça-feira posterior	3 / 2	0.29%

Tabela 6.17A: Comparação da melhor fórmula deduzida para a previsão da ponta horária de gás consumido no dia seguinte (dias "feriados") em 1990 com a fórmula trivial

Feriados	Di as influenciados	Fórmula de Previsão	
		Nº/p	RMSE
Segunda-feira	Sábado anterior	2 / 1	3.00%
	Domingo anterior	3 / 2	2.66%
	Segunda-feira	1 / 2	0.55%
	Terça-feira posterior	2 / 1	0.46%
	Quarta-feira posterior	4 / 1	0.08%
Terça-feira	Domingo anterior	6 / 2	3.41%
	Sábado anterior	1 / 2	1.16%
	Segunda-feira anterior	1 / 2	1.67%
	Terça-feira	1 / 2	0.64%
	Quarta-feira posterior	1 / 2	1.44%
	Quinta-feira posterior	1 / 1	2.48%
Quarta-feira	Quarta-feira	5 / 1	1.52%
	Quinta-feira posterior	3 / 1	0.49%
	Sexta-feira posterior	5 / 1	0.05%
Quinta-feira	Quinta-feira	3 / 2	0.04%
	Sexta-feira posterior	2 / 2	0.67%
	Sábado posterior	1 / 1	0.29%
	Domingo posterior	1 / 2	1.96%
	Segunda-feira posterior	1 / 1	0.63%
	Terça-feira posterior	4 / 2	0.00%
Sexta-feira	Sexta-feira	3 / 2	1.60%
	Sábado posterior	5 / 2	3.95%
	Domingo posterior	1 / 2	0.13%
	Segunda-feira posterior	2 / 1	0.03%
	Terça-feira posterior	3 / 2	0.05%
Sábado	Sábado	4 / 1	1.58%
	Domingo posterior	3 / 2	2.53%
	Segunda-feira posterior	4 / 1	0.11%
	Terça-feira posterior	3 / 2	0.57%
Domingo	Sábado anterior	3 / 1	0.52%
	Domingo	4 / 2	1.29%
	Segunda-feira posterior	3 / 2	0.37%
	Terça-feira posterior	1 / 1	0.02%

Tabela 6.17B: Comparação da melhor fórmula deduzida para a previsão da ponta horária de gás consumido no dia seguinte (dias "feriados") em 1990 com a fórmula trivial

6.3. Conclusões

Nas secções anteriores desenvolveram-se fórmulas de regressão para a previsão de todas as classes identificadas (para cada um dos quatro períodos do Ano).

Para a previsão de dias "normais" não foram definidas fórmulas únicas para a previsão em cada classe. Foram seleccionadas sim algumas fórmulas, para cada um dos casos estudados, função de parâmetros que deverão ser ajustados pelo algoritmo final de previsão.

Esta metodologia, apesar de tornar o algoritmo mais pesado e lento, permite obter fórmulas mais fiáveis que possam de certa maneira acompanhar a evolução do consumo de gás ao longo dos anos.

Para a previsão dos dias "feriados", a falta de dados não nos permitiu dispor de um conjunto de teste (ou conjunto de validação). Não foi, portanto, possível testar as fórmulas encontradas. Será necessário testar as fórmulas com o aparecimento de mais dados e, porventura, actualizá-las.

Capítulo 7

Produzindo uma previsão

No capítulo anterior apresentaram-se as melhores fórmulas de regressão para a previsão de padrões típicos de consumo nas seguintes épocas. Inverno, Primavera-Outono, Verão e Agosto, o mês especial de férias. Neste capítulo é apresentado um modelo que agrega as diversas fórmulas de previsão (definidas para cada um dos padrões típicos de consumo) de modo a poder acompanhar as mudanças climáticas e consequentemente as alterações de hábitos de consumo.

Podemos esquematizar o método de previsão desenvolvido nos seguintes passos:

- a) Utilizam-se técnicas de agrupamentos para a definição de padrões de consumo imprecisos durante o ano;
- b) Desenvolvem-se modelos de previsão separa cada padrão de comportamento, extraídos como protótipos ("cluster center");
- c) Para a produção actual da previsão, atribuem-se valores de pertença para o dia para o qual a previsão é desejada, em relação a padrões típicos previamente definidos: isto quer dizer, por exemplo, que um dia pode ser classificado como 0.6 Inverno, 0.3 Primavera-Outono e 0.1 Verão.
- d) Baseada nestes valores de pertença, a previsão de consumo é finalmente calculada.

Para obtermos os valores de pertença do dia a prever em relação aos padrões típicos de consumo tivemos em consideração que:

- a) os dias do ano exibem diferentes combinações de padrões de comportamento e de condições atmosféricas. Sendo assim, é errado dizer que um dia ou um período de dias apresentam um padrão de comportamento "puro";
- b) o dia que pretendemos analisar apresenta características similares aos dias precedentes da mesma classe devido a uma certa inércia dos hábitos de consumo;
- c) a previsão deve incluir as influências dos diversos padrões de comportamento.

Considera-se, então, que os valores de pertença do dia a prever, em relação aos padrões típicos de consumo, são calculados tendo em conta que esse mesmo dia apresentará um comportamento igual a um período de dias anteriores da mesma classe. Basta, assim, calcular a função de pertença da série de p dias, precedentes ao dia a prever, em relação a cada um dos centróides.

Na secção 7.1 temos, então, a apresentação do método de previsão desenvolvido (e resultados) no âmbito do contrato do INESC-Norte com a GDP - Gás de Portugal SA.

Na secção 7.2 podemos ver os resultados da aplicação do algoritmo final à previsão (situado o utilizador no dia corrente " d " do ano " a " e mês " m "):

- a) do volume diário de gás consumido no dia seguinte (dia " $d+1$ ")
- b) da ponta horária de consumo do dia " $d+1$ "
- a) do volume diário de gás consumido no dia " $d+2$ "

para os dias de 1990 e 1992, sendo feita a comparação desses mesmos resultados com o método trivial.

7.1. Produzindo uma previsão

Suponhamos que desejamos, por exemplo, produzir uma previsão para o volume diário de consumo para um certo dia (que pode ser chamado $p+1$). Tendo como dados a informação do volume diário de consumo de gás e temperaturas atmosféricas dos p dias anteriores à data em que nos situamos. Admitimos, também, que a previsão da temperatura atmosférica do dia a prever está disponível.

Seja então $x = (x_1, \dots, x_p)$ a série dos consumos dos últimos p dias, x_{p+1} o consumo que desejamos prever e $v_j = (v_{1,j}, \dots, v_{p,j})$ a série das previsões de consumo para cada um dos p dias obtida por regressão linear (ou por outro método), tendo sido usado como conjunto de treino o agrupamento "puro" j obtido pelo algoritmo "Fuzzy C-Means". Como v_j é obtido por regressão linear dos p dias podemos considerar que ele representa um centróide destes mesmos dias (recorde-se que o princípio da regressão é a minimização dos quadrados dos

desvios, e que o princípio do algoritmo "Fuzzy C-Means" é também a minimização, pesada pelos valores de pertença, dos quadrados das distâncias ao centróide de cada agrupamento).

Seja, então, v_j conhecido e supondo já minimizada a função (critério de agrupamento):

$$J_m(U, V) = \sum_{i=1}^c (\mu_i)^m d_i^2 \quad (5.1)$$

com

$U=(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_c)$ partição imprecisa de X

$V=(v_1, v_2, \dots, v_c)$ conjunto dos centros dos clusters

$d_{ix} = \|x - v_i\|$ é a distância entre a série de consumos x e o protótipo v_i

p =dimensão dos pontos

c =número de agrupamentos

m =peso exponencial, $m>1$.

e, partindo do princípio que acrescentando x_{p+1} à série $(x_1, \dots, x_p)$ não se vai alterar as funções de pertença u_i nos diversos "clusters i ", isto é, que as funções de pertença estão perfeitamente definidas para a série $(x_1, x_2, \dots, x_p)$, podemos então calcular as funções de pertença:

$$\mu_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^c (d_{ix}/d_{jx})^{2/m-1}} \quad i=1, \dots, c \quad (5.2)$$

e obter a previsão de x_{p+1} (Figura 7.1).

$$x'_{p+1} = \sum_{i=1}^c \mu_i v_{p+1,i} \quad (5.3)$$

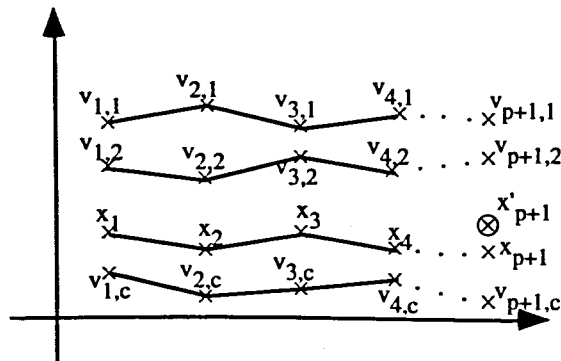


Figura 7.1: centróides $v_{p,i}$ dos padrões "puros", valores x_p dos consumos actuais e previsão x'_{p+1} (mostra-se também o suposto consumo real x_{p+1} , só conhecido a posteriori)

O Algoritmo de previsão segue, então, os seguintes passos:

- 1) A série de previsões ($v_{1,i}, \dots, v_{p,i}$) é produzida para a sequência dos p dias, utilizando cada modelo "puro" i .
- 2) Cada uma das séries de previsões é considerado como sendo o centróide de uma partição imprecisa induzida num conjunto de consumos diários.
- 3) A série dos consumos actuais, durante os mesmos p dias, terá portanto um certo grau de pertença a cada agrupamento definido pelo respectiva série "pura" - este grau (ou função) de pertença é calculada pela equação

$$U_{ix} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c (d_{ix}/d_{jx})^{2/m-1}}, \text{ para } i=1, \dots, c$$

onde d_{kx} representa a distância da série de consumos actuais ao padrão de consumo "puro" k , representada pelas séries para os p dias geradas pelo modelo de previsão adoptado para cada padrão k ; a letra x representa a série dos consumos actuais ($x_1, \dots, x_p$).

- 4) Depois de determinado os μ_{ix} para cada i , o valor de $v_{p+1,i}$ é calculado para o dia a prever utilizando cada padrão de consumo "puro" i .
- 5) A previsão final x'_{p+1} é obtida da seguinte forma (Figura 5.1):

$$x'_{p+1} = \sum_{i=1}^c \mu_i v_{p+1,i}$$

Aferição do modelos de previsão desenvolvidos para cada padrão de comportamento

Cada modelo "puro" i é obtido por aferição dos parâmetros da fórmula de regressão de modo a que a distância d_{ix} entre a série de consumos x e o protótipo v_i seja mínima. Procura-se ajustar, assim, cada modelo i em função dos últimos p dias, tendo em conta que o dia que pretendemos analisar apresenta características similares aos dias precedentes da mesma classe devido a uma certa inércia dos hábitos de consumo.

Os valores experimentados para os parâmetros das fórmulas de regressão são os seguintes:

desvios de temperatura v (em graus): 0.0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 5.0, 7.0, 10.0;

valores de $e_{\max}$ (em percentagem): 100, 10, 6, 5, 3, 2, 1

e seguintes valores de Exp : 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 20.0

A temperatura utilizada na fórmula de regressão pode ser a temperatura atmosférica média diária ou a temperatura atmosférica máxima diária.

Ensaaiaram-se diversos valores para o peso exponencial m . O valor final escolhido foi $m=2$

Foram ensaiados, também, diversos valores para p (o número de dias precedentes ao dia a prever). O valor final escolhido para p foi o seguinte:

- 3 se o dia " $p+1$ " pertence a uma das Classes 1 a 4;
- 5 se o dia " $p+1$ " pertencer à Classe 5.

Temos então, por exemplo, que se o dia " $p+1$ " é um Domingo da Classe 1, serão necessário os 3 últimos Domingos da mesma classe para podermos aferir o modelo de previsão.

Exemplos

Na Figura 7.2 podemos ver um exemplo da utilização do algoritmo na previsão do consumo de gás na Sexta-feira do dia 16 de Março de 1990 (estando o utilizador situado no dia anterior: 15/3/90).

Consumo diário

Dia a Prever Sex 1990/3/16

Temperaturas Previstas
1990/3/15

Mínima °C

Máxima °C

LIMPAR

CALCULAR

SAIR

Uso de prev. do INMG ☐

1990/3/16

Mínima °C

Máxima °C

Uso de prev. do INMG ☐

Inverno - Peso = 0.34

Prim-Outo - Peso = 0.31

Verão - Peso = 0.26

Outono - Peso = 0.09

Valores Iniciais

Previsão = 53.2

Desvio Padrão = 13.4

Margem Superior = 66.6

Margem Inferior = 39.8

Figura 7.2: previsão do volume total de consumo de gás no dia 16/3/90 (estando o utilizador situado no dia 15/3/90).

Pela análise das funções de pertença da série dos últimos p dias (nesta caso, os últimos 5 dias úteis) aos agrupamentos, verificamos que o algoritmo considerará que o dia a prever é um dia "híbrido", não sendo típico de nenhum agrupamento.

O dia seguinte (Sábado, 17 de Março de 1990) já será considerado, praticamente, um dia de Inverno baseado nos seguintes valores de pertença da série dos últimos 3 sábados a cada um dos agrupamentos:

Inverno:	0.70
Primavera-Outono:	0.19
Verão	0.06
Agosto	0.05

7.3. Resultados

Nesta secção podemos ver os resultados da aplicação do algoritmo final à previsão (situado o utilizador no dia corrente "d" do ano "a" e mês "m"):

- a) do volume diário de gás consumido no dia seguinte (dia "d+1")
- b) da ponta horária de consumo do dia "d+1"
- c) do volume diário de gás consumido no dia "d+2"

para os dias de 1990 e 1992, sendo feita a comparação desses mesmos resultados com o método trivial.

Da análise das Tabelas 7.1, 7.2 e 7.3 podemos verificar que o método desenvolvido obtém bons resultados, nomeadamente na previsão do volume total de consumo (previsões do tipo a) e c)). Se compararmos os resultados obtidos com os do método trivial verificamos que os erros resultantes com o algoritmo são muito inferiores aos obtidos com o método trivial. Por exemplo, na previsão do consumo diário do dia seguinte no ano de 1990 o erro médio relativo foi de 2% (enquanto que com o método trivial seria de 5.1%).

Ano	Fórmula de Previsão			Prev. trivial		
	Em	EM	DP	Em	EM	DP
1990 (com "feriados")	2%	12%	2.7%	5.1%	30%	7.7%
1990 (sem "feriados")	2.3%	12%	3%	3.8%	24%	5.4%
1992 (com "feriados")	1.8%	11%	2.5%	5%	34%	7.5%
1992 (sem "feriados")	2.1%	11%	2.8%	3.7%	30%	5.4%

Tabela 7.1: Comparação entre os resultados, da previsão do volume diário de gás consumido no dia seguinte (previsão do tipo a) em 1990 e 1992, com o algoritmo desenvolvido e com um método de previsão trivial.

Ano	Fórmula de Previsão			Prev. trivial		
	Em	EM	DP	Em	EM	DP
1990 (com "feriados")	3.6%	19%	4.9%	6.8%	40%	9.2%
1990 (sem "feriados")	4.3%	19%	5.4%	6.3%	40%	8.4%
1992 (com "feriados")	3.5%	19%	4.9%	6.7%	41%	9%
1992 (sem "feriados")	4.2%	19%	5.4%	5.9%	26%	7.5%

Tabela 7.2: Comparação entre os resultados, da previsão da ponta horária de gás consumido no dia seguinte (previsão do tipo b) em 1990 e 1992, com o algoritmo desenvolvido e com um método de previsão trivial.

Ano	Fórmula de Previsão			Prev. trivial		
	Em	EM	DP	Em	EM	DP
1990 (com "feriados")	2.4%	14%	3.2%	6%	33%	8.6%
1990 (sem "feriados")	2.8%	14%	3.6%	4.9%	29%	6.8%
1992 (com "feriados")	2%	11%	2.9%	5.3%	34%	7.8%
1992 (sem "feriados")	2.4%	11%	3.3%	4.4%	30%	6.2%

Tabela 7.3: Comparação entre os resultados, da previsão do volume diário de gás consumido no dia "d+2" (previsão do tipo c) em 1990 e 1992, com o algoritmo desenvolvido e com um método de previsão trivial.

Capítulo 8

Conclusões

Neste capítulo final apresentam-se as principais contribuições desta dissertação e respectivas conclusões.

São revistos na secção 8.1 os objectivos deste trabalho.

Na secção 8.2 apresentam-se as conclusões do trabalho efectuado e são referidas algumas possíveis metas futuras.

8.1. Objectivos

O trabalho apresentado nesta tese corresponde ao desenvolvimento de um método para a previsão de consumos de gás. Este trabalho foi desenvolvido ao abrigo de um contrato do INESC-Norte com a GDP - Gás de Portugal, S.A. (empresa responsável pela distribuição do gás canalizado em Lisboa) que consistiu em preparar modelos para três tipos de previsão, situado o utilizador no ano "**a**", mês "**m**" e dia "**d**" (dia corrente):

- a) volume diário de gás consumido no dia seguinte (dia "**d+1**")
- b) ponta horária de consumo do dia "**d+1**"
- c) volume diário de gás consumido no dia "**d+2**"

8.2. Conclusões

Os modelos de previsão desenvolvidos até hoje, e nomeadamente os modelos de séries temporais, que eram simplesmente extrapolações de consumos históricos, foram evoluindo de modo a incluir algumas variáveis externas independentes, tais como a temperatura. Os métodos foram se aperfeiçoando e subdividiram-se naturalmente em modelos sazonais, tentando de algum modo acompanhar a sazonalidade. Contudo a divisão do modelo em submodelos baseados nas estações climatéricas consistia, ainda assim, numa abordagem pouco realista e limitada.

No Capítulo 5 (e no Anexo B) pudemos verificar que a divisão do ano em épocas calendarizadas (fixas aos longo dos anos) não consistia numa visão correcta da realidade.

Vimos também que a divisão rígida do ano em épocas segundo os padrões típicos de consumo era também limitada por não nos permitir ver a transição que existe entre as épocas climatéricas.

A contribuição desta dissertação consistiu não na apresentação de novos procedimentos mas sim na apresentação de uma nova filosofia de modelo. Em vez de fazermos a partição do modelo em submodelos rígidos em disjuntos entre si, decidimos ter uma visão imprecisa das estações climatéricas transpondo para os submodelos (sazonais) essa imprecisão. A previsão final do consumo num certo dia seria obtida tendo em conta a função de pertença imprecisa desse mesmo dia em relação às estações sazonais.

Os resultados apresentados nesta tese demonstraram que o trabalho realizado até este momento revela-se de grande interesse científico e a sua aplicação real à previsão dos consumos de gás em Lisboa demonstrou as grandes potencialidades desta nova metodologia.

A inclusão dos conceitos da Teoria de Conjuntos Imprecisos nos modelos de previsão é uma nova abordagem que possibilita uma maior aproximação à realidade e consequentemente uma melhoria dos modelos de previsão.

Esta nova filosofia de modelo é sem dúvida um grande contributo para o aperfeiçoamento das técnicas de previsão.

A previsão dos consumos de gás é uma das muitas aplicações desta nova metodologia. Uma possibilidade de trabalho futuro é a aplicação deste método à previsão de outros tipos de consumos, nomeadamente a previsão de consumos eléctricos.

O método apresentado nesta dissertação tem características híbridas, associando conceitos de conjuntos imprecisos (*fuzzy sets*) a conceitos de regressão. Para o desenvolvimento do trabalho a regressão foi obtida pelas técnicas clássicas de multi-regressão. Contudo não é essencial utilizar as técnicas de multi-regressão. Outra perspectiva de trabalhar futuro é ensaiar novas técnicas de regressão, nomeadamente técnica não-lineares, tais como as redes neuronais.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. B. Magalhães, "*Análise de Agrupamentos com Conceitos Imprecisos com vista à Classificação de Diagramas de Carga*". Tese de Mestrado, FEUP (1991).
- [2] A. D. Papalexopoulos and Timothy C. Hesterberg, "*A Regression-Based Approach to Short-Term Load Forecasting*", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 5, No. 4, November 1990.
- [3] Armstrong, "*Long Range Forecasting*", Second edition, John Wiley and Sons, New York, 1985.
- [4] B. J. A. Krose, P. Patrick van der Smagt, "*Self Organising Networks*", University of Amsterdam.
- [5] B. J. F. Murteira, D. A. Müller, K. F. Turkman, "*Análise de Sucessões Cronológicas*", Editora McGraw-Hill, 1993.
- [6] C. N. Lu, H. t. Wu and S. Vemuri, "*Neural Network Based Short Term Load Forecasting*", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, No. 1, February 1993.
- [7] D. C. Park and M. A. El-Sharkawi, "*Electric Load Forecasting Using an Artificial Neural Network*", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, No. 2, May 1991.
- [8] D. W. Bunn and E. D. Farmer, "*Comparative Models for Electrical Load Forecasting*", John Wiley and sons, New York, 1985.
- [9] E. D. Farmer and M. J. Potton, "*Development of On-Line Load Prediction Techniques with Results from Trials in the Southwest Region of the CEGB*", Proc. IEEE, Vol. 115, No 10, October 1968
- [10] E. H. Barakat, M. A. Qayyum, M. N. Hamed and S. A. Al Rashed, "*Short-Term Peak Demand Forecasting in Fast Developing Utility with Inherent Dynamic Load Characteristics*", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 5, No. 3, August 1990.

-
- [11] G. A. N. Mbamalu and M. E. El-Hawary, "*Load Forecasting Via Suboptimal Seasonal Autoregressive Models and Iteratively Reweighted Least Squares Estimation*", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, No. 1, February 1993.
- [12] G. E. P. Box and G. M. Jenkins, "*Time Series Analysis Forecasting and Control*", Holden Day, San Francisco, 1970.
- [13] G. T. Heineman, D. A. Nordman and E. C. Plant, "*The Relationship Between Summer Weather and Summer Loads - A Regression Analysis*", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. Pas. 85, No. 11, 1966.
- [14] Hans J. Zimmermann, "*Fuzzy Set Theory - and its Applications*", Kluwer Academic Publishers.
- [15] Hans J. Zimmermann, "*Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems*", Kluwer Academic Publishers.
- [16] IEEE Comittee Report, "*Load Forecasting Bibliography, Phase I*", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. Pas. 99, No. 1, Jan./Feb. 1980.
- [17] J. Bezdek and S. Pal, "*Fuzzy Models for Pattern Recognition: Methods that Search for Structures in Data*", IEEE Press, 1992.
- [18] J. H. Park, Y. M. Park and K. Y. Lee, "*Composite Modeling for Adaptive Short-Term Load Forecasting*", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, No. 2, May 1991.
- [19] J. P. Germano, "*Ferramentas de Análise de Sistemas de Energia incorporando a Teoria dos Fuzzy Sets*", Relatório final no âmbito do projecto JNICT N° PMCT/TIT/413/90.
- [20] J. Toyoda, M. Chen and Y. Inouye, "*An Application of State Estimation to Short-Term Load Forecasting, Part I and Parte II*", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. Pas. 89, No. 7, Sept./Oct. 1970.
- [21] James C. Bezdek, "*Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*", Plenum Press. New York and London.
- [22] K. Y. Lee, Y. T. Cha and J. H. Park, "*Short-Term Load Forecasting Using an Artificial Neural Network*", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, No. 1, February 1992.

- [23] Kun-Long Ho and Yuan-Yih Hsu, "*Short Term Load Forecasting of Taiwan power Systems using a Knowledge-Based Expert System*", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 5, No. 4, November 1990.
- [24] Kun-Long Ho and Yuan-Yih Hsu, "*Short Term Load Forecasting Using a Multilayer Neural Network with an Adaptative Learning Algorithm*", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, No. 1, February 1992.
- [25] L. A. Zadeh, "*Fuzzy Set Theory and it's Applications*", Berkeley, March 1985.
- [26] L. Mili, V. Phaniraj, "*Least Median of Squares Estimation in Power Systems*". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, No. 2, May 1991.
- [27] M. A. Abu-El Magd and N. K. Sinha, "*Short-Term Load Demand Modeling and Forecasting: A Review*", IEEE, Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-12, No. 3, May/June 1982.
- [28] M. E. El Hawary and G. A. N. Nbamalu, "*Short Term Load Forecasting Using the Iteratively Reweighted Last Squares Algorithm*", Electric Power Systems Research, 19 (1990).
- [29] M. G. Kendall and A. Stuart, "*The Advanced Theory of Statistics*", Charles Griffin Company Limited London.
- [30] M. G. Sobol, "*Validation Strategies for Multiple Regression Analisis: Using the Coeficient of Determination*", INTERFACES 21: 6 November-December 1991 (pp. 106-120).
- [31] M. R. Spiegel, "*Estatística*", 2ª Edição, Editora McGraw-Hill, 1984.
- [32] M. S. Abou-Hussien, M. S. Kandil, "*An Acurrate Model for Short-Term Load Forecasting*", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. Pas. 100, No. 9, Setember 1981.
- [33] M. S. Sachdeo, R. Billinton and C. A. Peterson, "*Representative Bibliography'on Load Forecasting*", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. Pas. 96, No. 2, March/April 1977.
- [34] M. T. Hagan and S. M. Behr, "*The Time Séries Approach to Short Term Load Forecasting*". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-2, No. 3, August 1987.

-
- [35] N. Draper and H. Smith, "*Applied Regression Analysis*". Second edition, John Wiley and Sons, New York, 1981.
- [36] P. H. Winston, "*Artificial Intelligence*", Third Edition, Addison-Wesley Publishing Company 1992.
- [37] PDP Research Group. "*Explorations in Parallel Distributed Processing - A Handbook of Models, Programs and Exercises*", The MIT Press.
- [38] R. H. Brown, I. Matin and X. Feng, "*Development of feed-Forward Neural Network Models For Gas Short-Term Load Forecasting*", proceedings of the Adaptive Control Systems Technology Symposium, Pittsburgh Greentree Marriott, October 24-25, 1994. Samuel J. Biond, Charles J. Drummond Editors.
- [39] R. L. Kashyap and A. R. Rao, "*Dynamic Stochastic Models from Empirical Data*", Academic Press, New York, 1976.
- [40] R. P. Lippman, "*An Introduction to Computing with Neural Nets*", IEEE ASSP MAGAZINE APRIL 1987.
- [41] V. M. Vlahovic and I. M. Vujosevic, "*Long-term forecasting: a critical review of direct-trend extrapolation methods*", Electrical Power Energy Systems, 1987 Butterworth Co (Publishers) Ltd.
- [42] V. Miranda e M. Matos, "*Determinação de Diagramas de Carga imprecisos Úteis ao Planeamento de Energia Eléctrica*", Investigação Operacional, Vol. 7, No 2 1987 (pp.25-31).
- [43] V. Vieira e M. J. Clara, "*Modelo de Previsão, a Médio Prazo, do Consumo Semanal de Energia Eléctrica, Tendo em Atenção os Efeitos de Calendário e de Temperatura Atmosférica*", APDIO - 3º Congresso
- [44] W. R. Christiaanse, "*Short Term Load Forecasting Using General Exponential Smoothing*", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. Pas. 90, No. 2, March/April 1972.

Anexo A

Ferramentas Auxiliares de Análise

Neste apêndice apresentam-se algumas das ferramentas auxiliares de análise utilizadas nesta dissertação.

Na secção A.1 define-se as estatísticas que servem de primeira aproximação à análise duma série temporal.

Na secção A.2 define-se os coeficientes de autocorrelação.

Na secção A.3 define-se as medidas de qualidades referidas, ou utilizadas, nesta dissertação.

A.1. Estatísticas

A.1.1. Média

A média, ou média aritmética, de um conjunto de N valores é a estimativa do valor em redor do qual se agrupam todos os valores da amostra, sendo definida da seguinte forma:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (\text{A.1})$$

A.1.2. Desvio Padrão e variância

O desvio padrão de uma série de N valores indica a dispersão desse conjunto de valores relativamente à sua média e define-se como sendo:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{A.2})$$

A variância de um conjunto de dados é definida como sendo o quadrado do desvio padrão e é, então, representada por s^2 .

Quando é necessário definir entre o desvio padrão de uma população e o de uma amostra dela extraída, adopta-se o símbolo s para o último e σ para o primeiro. Então, s^2 e σ^2 representam a *variância da amostra* e a da *população*, respectivamente.

Propriedades do desvio padrão

1. O desvio padrão pode ser definido por: $s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - a)^2}$, em que a é uma média

próxima da aritmética. O valor mínimo para s é quando $a = \bar{x}$.

2. Para as propriedades normais:

- (a) 68,27% dos casos estão incluídos entre $\bar{x} - s$ e $\bar{x} + s$.
- (b) 94,45% dos casos estão incluídos entre $\bar{x} - 2s$ e $\bar{x} + 2s$.
- (c) 99,73% dos casos estão incluídos entre $\bar{x} - 3s$ e $\bar{x} + 3s$.

A.1.3. Assimetria

Assimetria é o grau de desvio, ou afastamento de simetria, de uma distribuição. A sua definição mais usual é a seguinte:

$$\text{assimetria} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^3 \quad (\text{A.3})$$

A assimetria, ao contrário da média e do desvio padrão, é uma grandeza adimensional e só existe para algumas distribuições.

Um valor de assimetria positivo significa que a distribuição possui uma "cauda" que se estende-se para valores de x_i mais positivos, e diz-se que a distribuição é *desviada para a direita*, ou que é *assimétrica positiva*. Se o inverso ocorre, diz-se que a distribuição é *desviada para a esquerda*, ou que é *assimétrica negativa*.

A.1.4. Coeficiente de Curtose

Curtose é o grau de achatamento de uma distribuição, considerado usualmente em relação a uma distribuição normal. Uma medida de curtose, expressa sob forma não-dimensional, é definida por:

$$\text{coeficiente de curtose} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^4 \quad (\text{A.4})$$

Para a distribuição normal o coeficiente de curtose toma o valor 3 e a distribuição é denominada de *mesocúrtica*. Para valores superiores a 3 tem-se uma distribuição de pico relativamente elevado e pontiagudo (*leptocúrtica*), enquanto valores inferiores indicam uma distribuição de topo achatado (*platicúrtica*).

A.2. Coeficiente de autocorrelação

É possível estimar-se a correlação entre valores da mesma série temporal, separados por determinado intervalo de tempo τ e designa-se por coeficiente de autocorrelação. A definição usada nesta dissertação é a seguinte:

$$r_{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{N-\tau} (x_i - \bar{x})(x_{i+\tau} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, \tau > 0 \quad (\text{A.5})$$

$$r_0 = 1$$

Tem-se, então, que para valores de $|r_{\tau}|$ próximos de 1 existe grande correlação para intervalos de tempo $\bar{Y}$.

O gráfico dos coeficientes de autocorrelação em função do atraso τ designa-se por função de autocorrelação, ou FAC (sigla em Inglês).

A.3. Medidas de Qualidade de Predição

Nesta secção discutem-se as medidas de qualidade de previsão referidas ou utilizadas nesta dissertação.

A.3.1. Erro médio

A sua definição de erro médio para um conjunto de N elementos, é dada pela equação (A.6):

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^N |r_i - p_i|}{N} \quad (\text{A.6})$$

onde r_i é o valor real e p_i é o valor previsto.

Com o erro médio torna-se possível, por exemplo, comparar a qualidade de predição em dois conjuntos com um número distinto de elementos.

A.3.2. Erro relativo

O erro relativo é uma medida de qualidade que, para um conjunto de N termos é definido da seguinte forma:

$$e^R = \sum_i^N \left| \frac{r_i - p_i}{r_i} \right| \quad (A.7)$$

Na equação (A.7), r_i representa o valor real e p_i o valor previsto.

Normalmente, exprime-se este erro em percentagem.

A principal vantagem desta medida de qualidade de predição é a sua adimensionalidade, isto é permite dar-nos uma ideia da ordem de grandeza dos erros independentemente do tipo de dados previstos. Contudo, tem a desvantagem de, para valores reais (r_i) pequenos, originar erros relativos grandes.

A.3.3. Erro relativo médio

É comum definir-se o valor médio do erro relativo como se mostra na equação:

$$\overline{e^R} = \frac{e^R}{N} \quad (A.8)$$

com

$$e^R = \sum_i^N \left| \frac{r_i - p_i}{r_i} \right|$$

A.3.4. Erro Quadrático

O erro quadrático é uma das medidas de qualidade de predição mais comum.

A sua definição, para um conjunto de N elementos, é dada pela equação (A.9):

$$e^Q = \sum_i^N (r_i - p_i)^2 \quad (A.9)$$

A.3.5. Erro Quadrático Médio

Tal como para erro relativo, é comum definir-se o valor médio do erro quadrático como se mostra na equação (A.10):

$$\overline{e^Q} = \frac{e^Q}{N} \quad (A.10)$$

Uma medida que é muitas vezes preferida em relação ao erro quadrático média é a respectiva raiz quadrática, definida pela Equação (A.11) e designada normalmente por RMSE (sigla da sua designação em inglês):

$$RMSE = \sqrt{eQ} \quad (A.11)$$

A.3.6. Coeficiente de determinação

Um método de validação bastante utilizado na análise de regressões é o coeficiente de determinação e é dado, para N elementos, pela equação (A.12):

$$r^2 = \frac{\sum_i^N (p_i - \bar{r})^2}{\sum_i^N (r_i - \bar{r})^2} \quad (A.12)$$

em que $\bar{r}$ é o valor médio dos N valores reais

porque Herzberg (1969) forneceu um modo de estimar a esperada diminuição em r^2 . O primeiro conjunto em que a equação de regressão é baseada, é chamado o conjunto de derivação, e o segundo é o conjunto de validação ou de calibração. Quando o conjunto de derivação é ajustado para o conjunto de validação, espera-se, geralmente, que o coeficiente de determinação, r_c^2 , seja mais pequeno para o conjunto de validação do que r^2 para o conjunto de derivação. Para usar r_c^2 para testar a validade do modelo, devemos determinar o nível esperado de diminuição em r^2 .

Para um conjunto utilizando a análise de multi-regressão a fórmula para calcular o coeficiente de determinação ajustado r_c^2 é :

$$r_c^2 = 1 - \frac{\sum_i^N (r_i - p_i)^2 / (N - P')}{\sum_i^N (r_i - \bar{r})^2 (N - 1)} \quad (A.13)$$

onde

$P' = P + 1$, número de parâmetros independentes a serem estimados na equação (variáveis + constante)

O valor esperado do coeficiente de determinação dado pela fórmula de Herzberg (A.14) é

$$\hat{r}_c^2 = 1 - \left(\frac{N-1}{N-P'-1} \right) \left(\frac{N+P'+1}{N} \right) (1-r^2) \quad (\text{A.14})$$

Temos então que, se a equação de regressão original é válida, r_c^2 deve ser maior do que o coeficiente de determinação estimado pela equação de Herzberg.

Contudo uma limitação deste método é ser fiável apenas para casos em que o número de observações for suficientemente elevado. Por exemplo, se $n=6$, $p'=4$ e $r^2=0.86$, temos o seguinte valor esperado do coeficiente de determinação: $\hat{r}_c^2=-0.28!$.

Anexo B

Redes de Kohonen e Algoritmo "Fuzzy C-Means"

(Texto escrito em colaboração com Ricardo Lopes, baseado nas conclusões do seu trabalho de estágio no INESC, como finalista do curso de Matemáticas Aplicadas - Ramo Ciência da computação da Faculdade de Ciências da UP)

Um método de reconhecimento de padrão bastante divulgado é o método das Redes de Kohonen ([4], [36], [37] e [39]).

Neste anexo apresentam-se, então, os resultados da utilização de redes de Kohonen no reconhecimento de padrões típicos de consumo de Gás em Lisboa e comparação desses mesmos resultados com o uso do Algoritmo "Fuzzy C-Means" (Capítulo 4).

Apresentam-se na secção B.1. a divisão dos Anos 1987 a 1992 em 4 padrões de consumo pelo método das redes de Kohonen.

Na secção B.2. é feita a comparação dos dois algoritmos: as redes de Kohonen e o "Fuzzy C-Means".

B.1. Padrões típicos de Consumo

Nesta secção apresentam-se os resultados da divisão do ano em 4 padrões típicos de consumo utilizando as redes de Kohonen.

Podemos verificar, da observação dos gráficos B.1 a B.6, que os 4 padrões de consumo encontrados consistem (genericamente) nas seguintes épocas:

- Classe 1: Dias úteis de Inverno;
- Classe 2: Dias úteis de Primavera-Outono;
- Classe 3: Dias úteis e fins de semana de Verão;
- Classe 4: Restantes dias de fim de semana e Feriados.

Se observarmos atentamente as Figuras B.1 a B.6 é possível verificar que as estações climatéricas, aos longos dos anos, não obedecem a um calendário rígido. Pelo contrário, ao

longo dos anos, é possível ver grandes modificações climáticas: por exemplo, em 1988 foi um ano com muitos dias de Inverno, provavelmente um ano muito frio, mas no Ano anterior podemos verificar que tal não aconteceu. Contudo, a principal desvantagem deste método em relação ao FCM é que não nos permite ver a transição que existe entre as épocas climáticas. A separação entre os clusters é rígida, quando sabemos que na realidade tal não acontece.

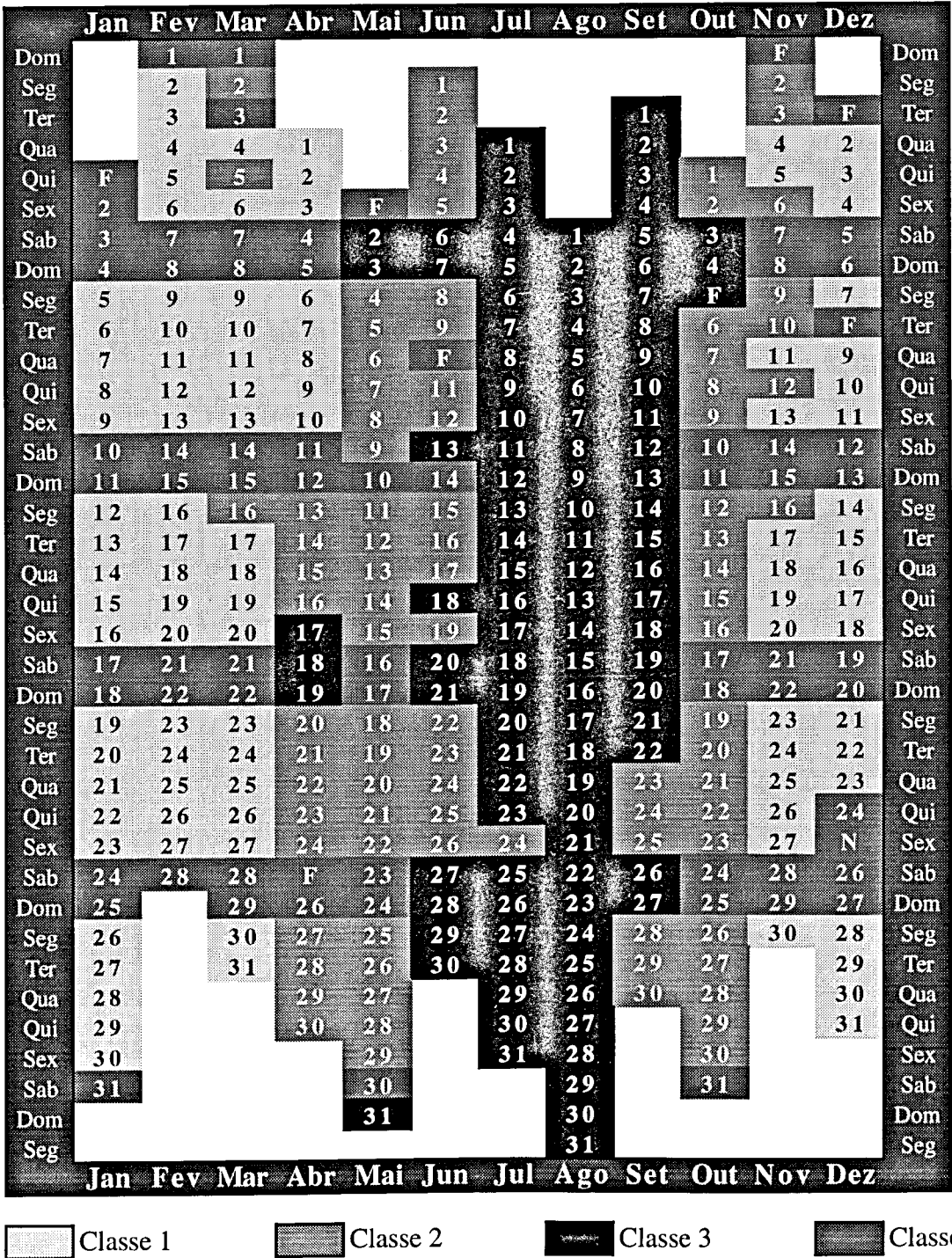
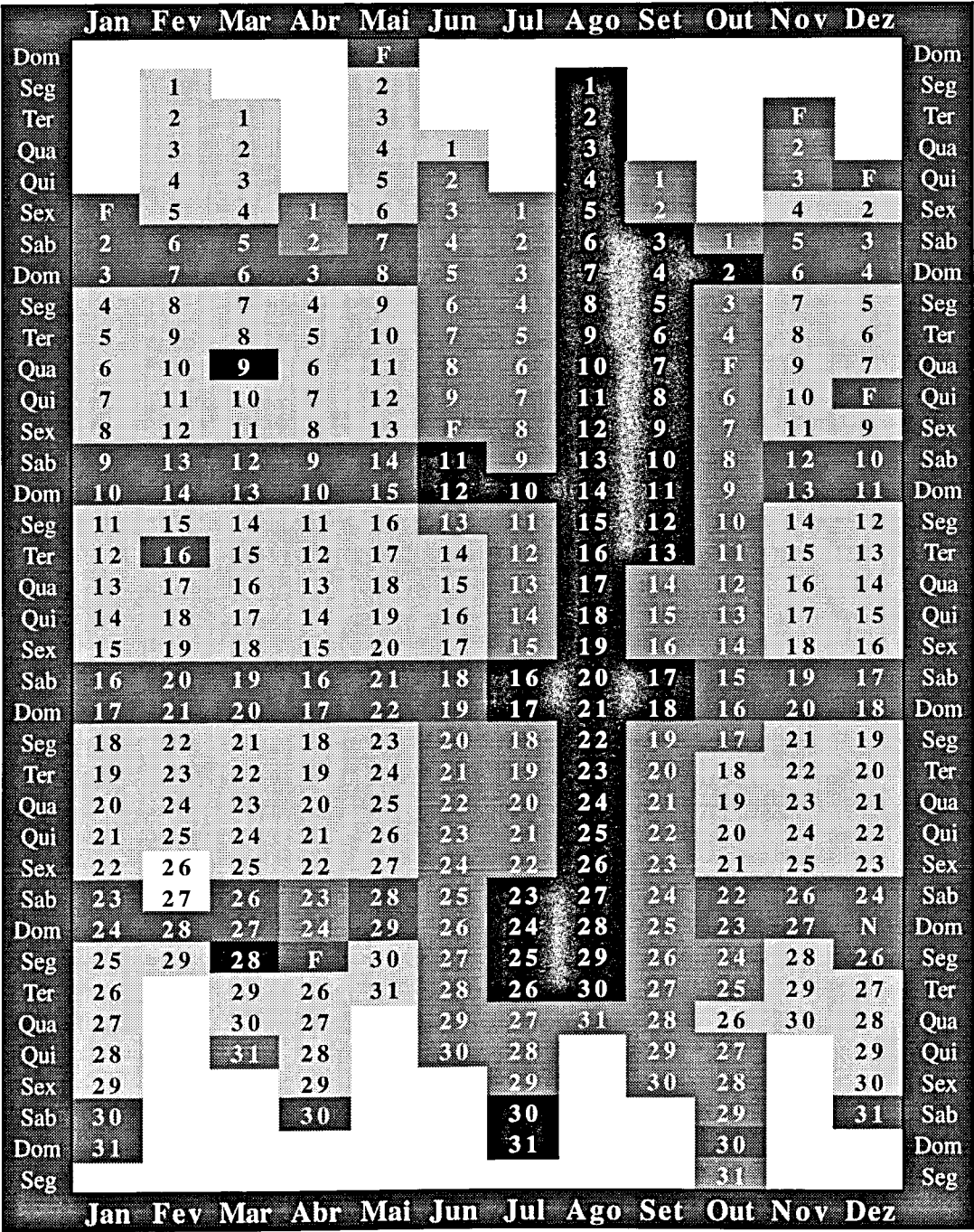


Figura B.1: Divisão do Ano de 1987 em 4 agrupamentos



Classe 1 Classe 2 Classe 3 Classe 4

Figura B.2: Divisão do Ano de 1988 em 4 agrupamentos

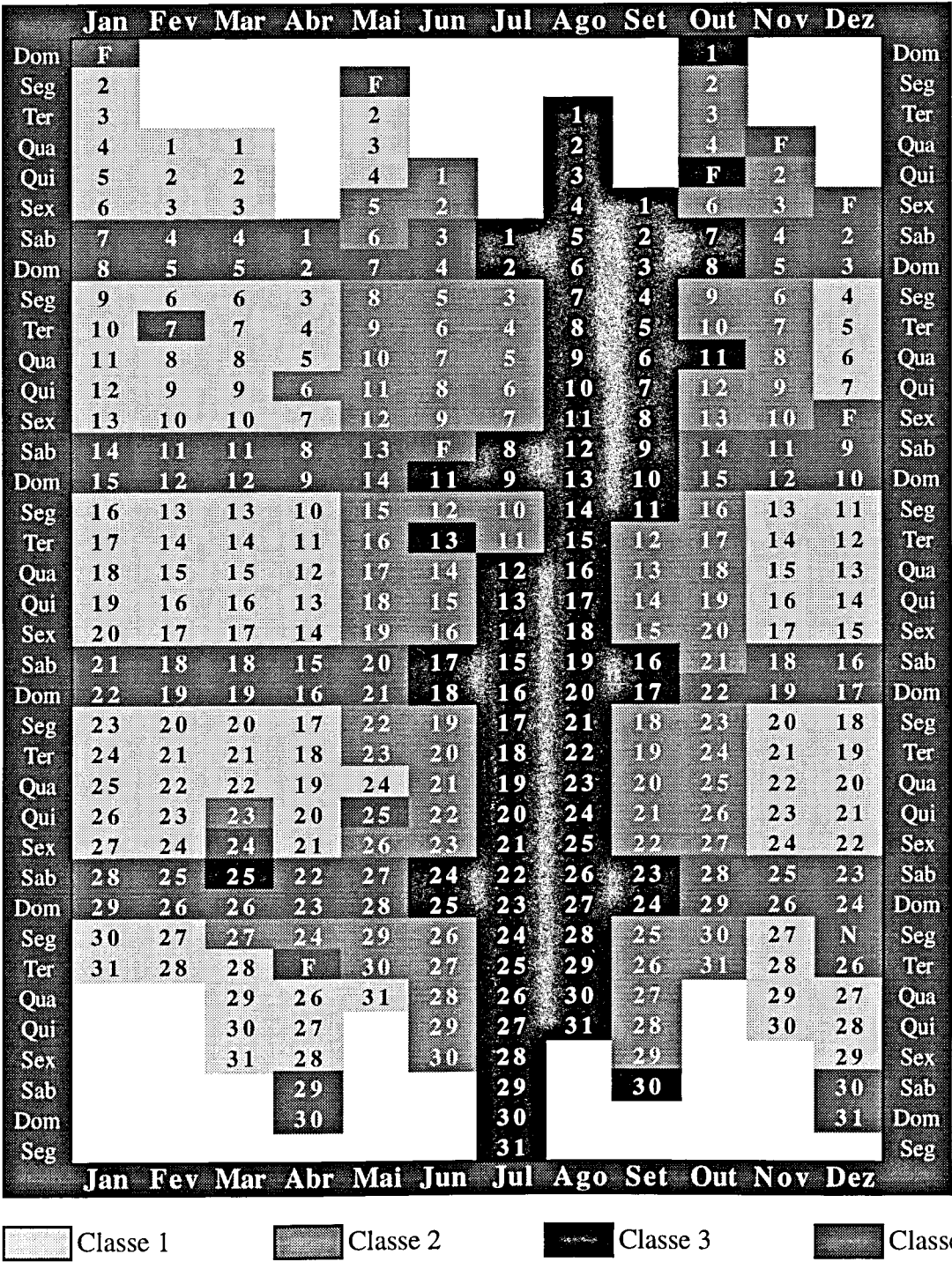


Figura B.3: Divisão do Ano de 1989 em 4 agrupamentos

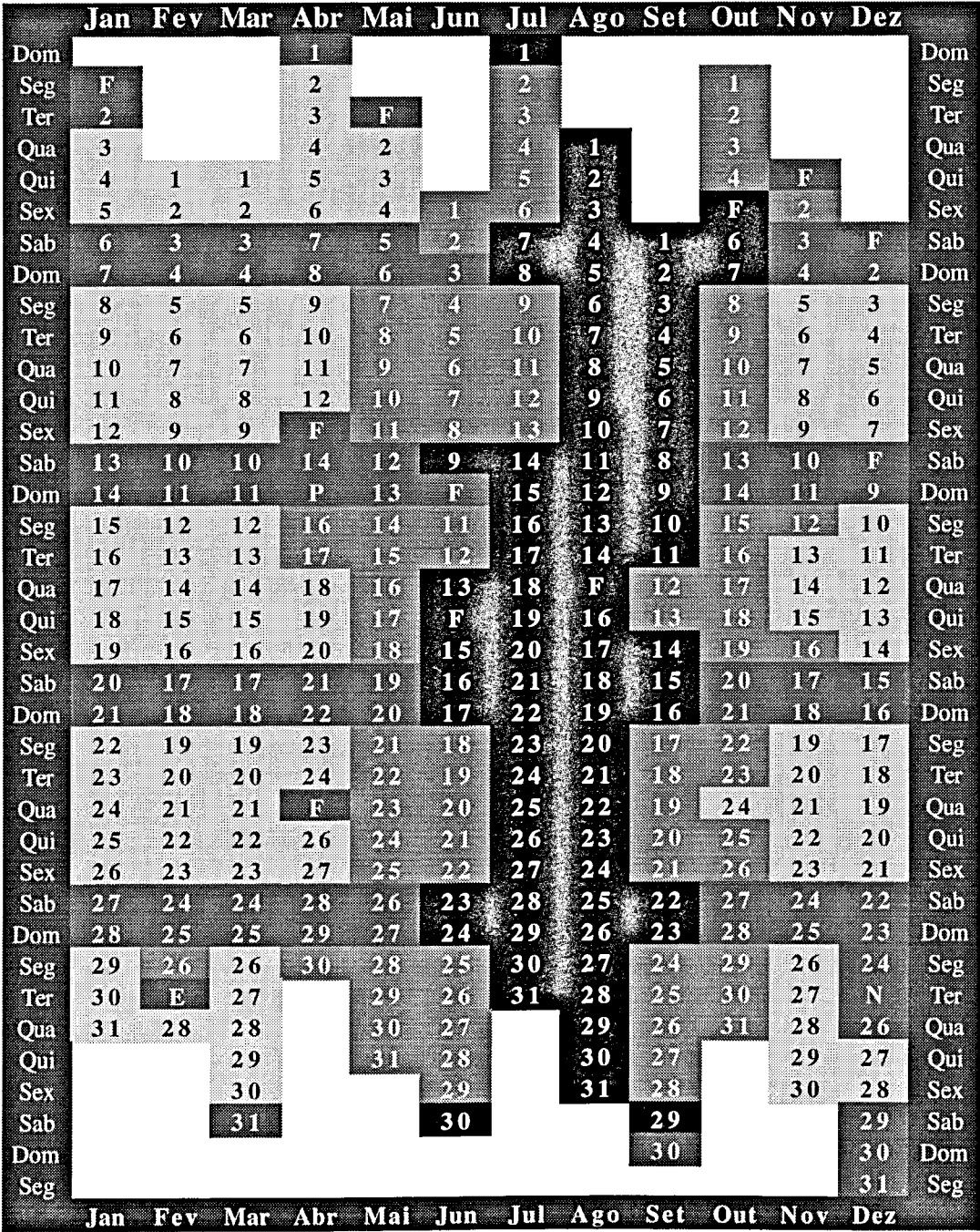
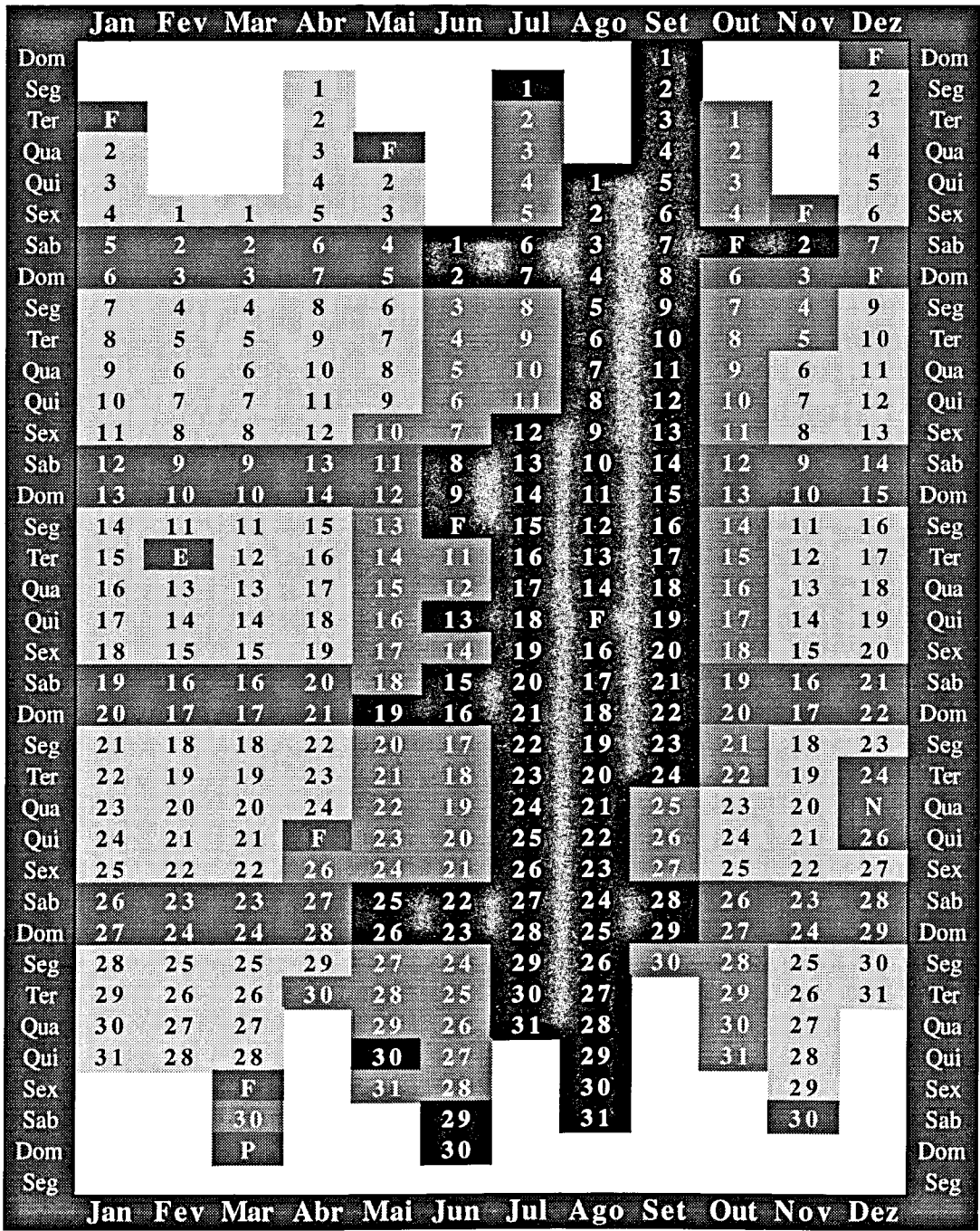
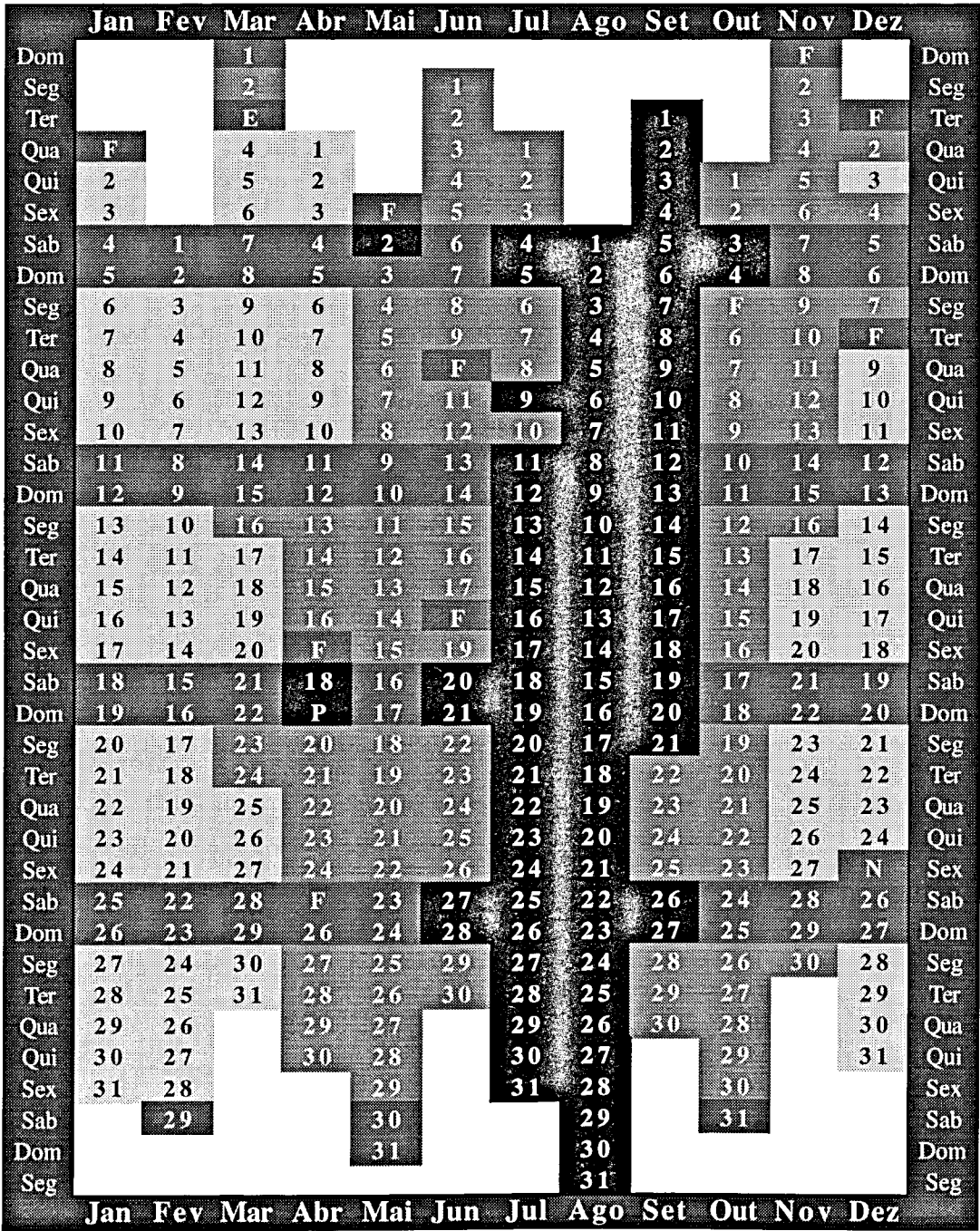


Figura B.4: Divisão do Ano de 1990 em 4 agrupamentos



Classe 1 Classe 2 Classe 3 Classe 4.

Figura B.5: Divisão do Ano de 1991 em 4 agrupamentos



Classe 1 Classe 2 Classe 3 Classe 4

Figura B.6: Divisão do Ano de 1992 em 4 agrupamentos

Se calcularmos o número de dias pertencente a cada padrão típico de consumo em cada Ano (Figura B.7) podemos observar melhor as grandes variações no tamanho dos Agrupamentos ao longo dos anos.

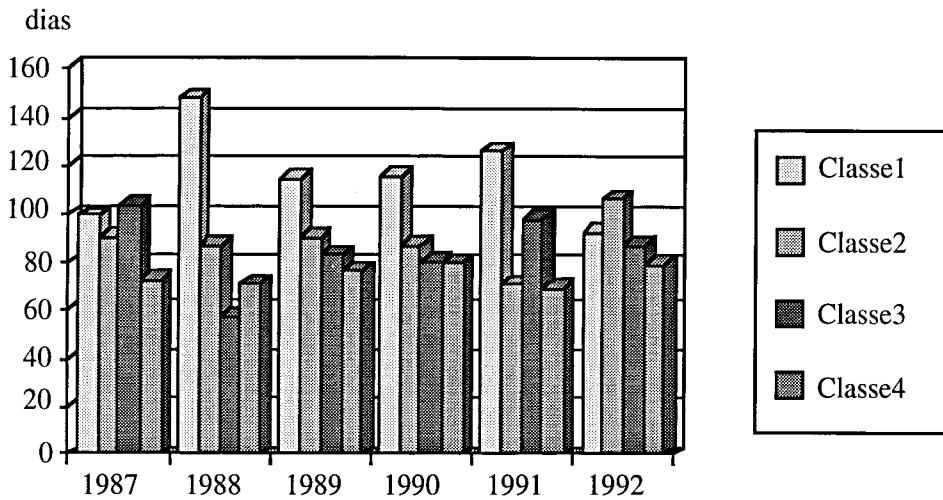


Figura B.7: Número de dias pertencente a cada padrão típico de consumo

A limitação deste método em contraste com os métodos baseados em conceitos imprecisos, é a sua "rigidez". Com este método não existem dias híbridos, não é possível verificar, por exemplo, até que ponto um certo dia é de Inverno e se já não tem características de Primavera. Um dia ou pertence a uma determinada estação climática ou não pertence. Contudo a realidade não é bem essa, daí a vantagem dos métodos baseados em conceitos imprecisos.

B.2. Comparação entre as redes de Kohonen e o algoritmo "Fuzzy C-Means"

Nesta secção é feita a comparação entre as redes de Kohonen e o algoritmo "Fuzzy C-Means", apresentando-se os protótipos dos agrupamentos para os dois métodos.

Para ser possível a comparação, considerou-se que na utilização do FCM um dia pertence ao agrupamento para o qual tem maior valor de pertença.

Como se pode observar, por exemplo, da divisão de 1991 em 4 agrupamentos (Tabela B.1 e Figura B.8), os resultados dos dois métodos são muito análogos.

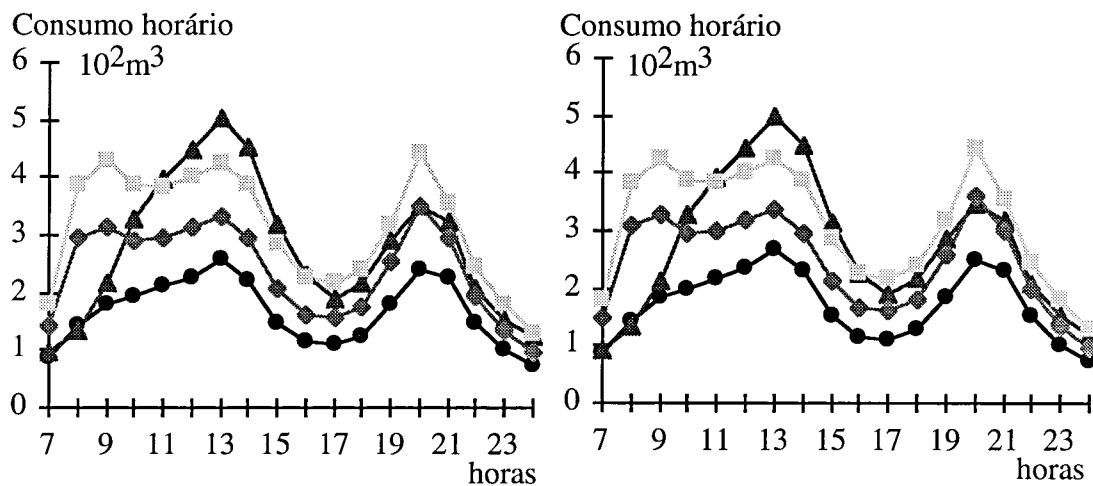


Figura B.8: Protótipo dos Agrupamentos da divisão de 1991 em 4 Agrupamentos utilizando "Fuzzy C-Means" e Redes de Kohonen, respectivamente

Algoritmo Fuzzy C-Means

	Classe1	Classe2	Classe3	Classe4
H7	860	951	1425	1786
H8	1425	1338	2942	3873
H9	1795	2161	3135	4278
H10	1948	3285	2907	3877
H11	2108	3957	2941	3852
H12	2278	4494	3153	4035
H13	2604	5020	3346	4245
H14	2224	4540	2949	3860
H15	1496	3167	2095	2858
H16	1134	2303	1618	2255
H17	1092	1902	1565	2151
H18	1259	2191	1770	2382
H19	1821	2889	2538	3200
H20	2419	3493	3492	4429
H21	2264	3236	2970	3556
H22	1473	2090	1946	2452
H23	1017	1526	1331	1777
H24	737	1229	970	1305

Algoritmo de Kohonen

	Classe0	Classe1	Classe2	Classe3
H7	870	941	1480	1779
H8	1445	1321	3106	3853
H9	1832	2139	3261	4264
H10	2007	3260	2963	3873
H11	2172	3929	2978	3849
H12	2363	4447	3176	4031
H13	2683	4972	3359	4247
H14	2302	4480	2963	3862
H15	1545	3133	2108	2864
H16	1169	2276	1639	2255
H17	1123	1887	1596	2152
H18	1290	2172	1812	2382
H19	1869	2861	2587	3197
H20	2474	3462	3584	4411
H21	2312	3191	3002	3551
H22	1505	2066	1971	2450
H23	1034	1502	1350	1777
H24	750	1205	988	1305

Tabela B.1: Protótipo dos Agrupamentos da divisão de 1991 em 4 Agrupamentos utilizando "Fuzzy C-Means" e Redes de Kohonen, respectivamente

Anexo C

Interface de Utilização do Módulo de Previsão de Consumos

Neste Anexo apresenta-se o relatório, enviado à GDP, do protótipo da interface de utilização do modelo de previsão no âmbito do contrato entre INESC-Norte e a GDP - Gás de Portugal, S.A.(empresa responsável pela distribuição do gás canalizado em Lisboa) para fornecimento de modelos para três tipos de previsão (situado o utilizador no ano "**a**", mês "**m**" e dia "**d**"):

- a) previsão do volume diário de gás consumido no dia seguinte (dia "**d+1**")
- b) previsão da ponta horária de consumo do dia "**d+1**"
- c) previsão do volume diário de gás consumido no dia "**d+2**"

O protótipo de aplicação para previsão de consumos de gás dispõe de uma interface gráfica que permite ao Analista, interactivamente e de um modo amigável, executar as tarefas a que se propõe. Este programa permite também a simulação de uma base de dados em tempo real, fornecendo ferramentas que facilitam a actualização da mesma.

Previsão de Consumos de Gás
Interface do Protótipo - Ambiente DOS

1994.02.22 - versão 1.0
Ângelo Silva, Celso Martins

INESC (Porto)

MUT.DT.PRE.01

resumo

Neste relatório descreve-se o protótipo de aplicação para previsão de consumos de gás.

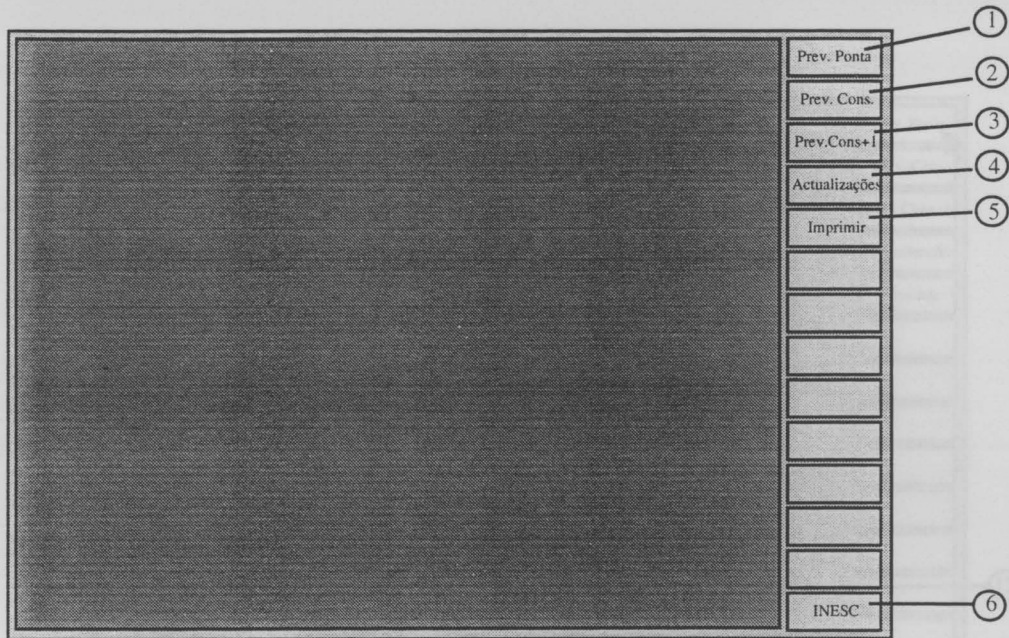
1. Introdução

O protótipo de aplicação para previsão de consumos de gás dispõe de uma interface gráfica que permite ao Analista, interactivamente e de um modo amigável, executar as tarefas a que se propõe. Este programa permite também a simulação de uma base de dados em tempo real, fornecendo ferramentas que facilitam a actualização da mesma.

As opções, já disponíveis, são as seguintes (ver visualização gráfica na Figura 1):

1. Previsão da ponta horária do dia seguinte
2. Previsão do consumo do dia seguinte
3. Previsão do consumo dois dias depois
4. Actualização da base de dados

Sendo possível acrescentar mais ferramentas, tais como impressão de resultados e dados da base de dados.



Legenda:

1. Previsão da ponta horária do dia seguinte
2. Previsão de consumo do dia seguinte
3. Previsão do consumo dois dias depois
4. Actualização da base de dados
5. Impressão de dados
6. Saída do Programa

Figura 1.

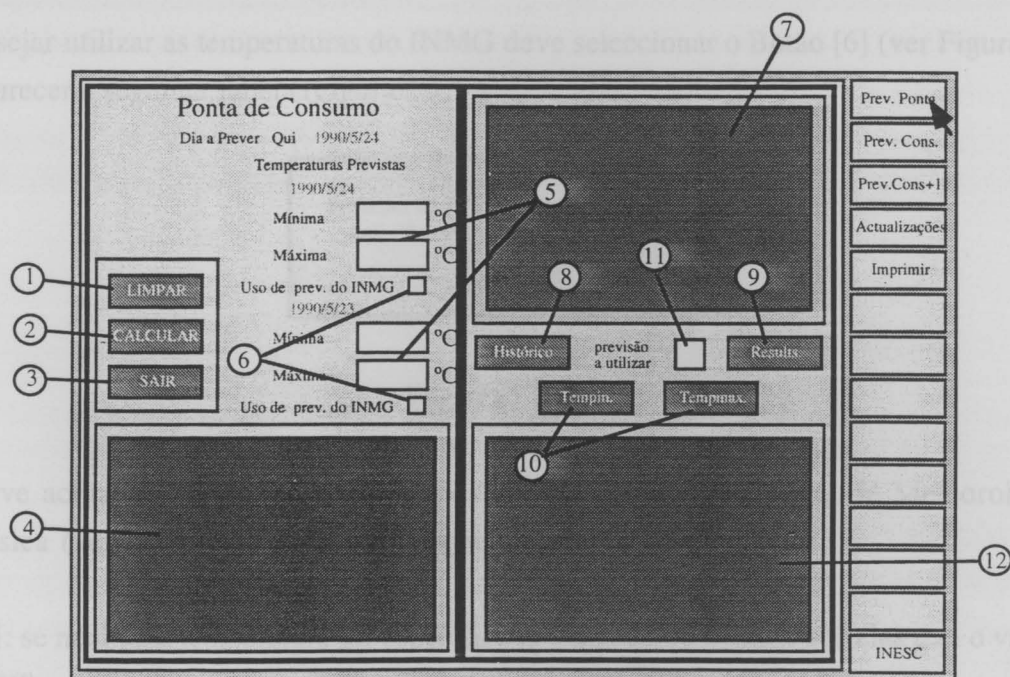
2. Como utilizar as opções?

Os procedimentos para o uso das opções são os seguintes:

2.1. Previsão da ponta horária do dia seguinte

Para utilizar a opção *Previsão da ponta horária do dia seguinte*, seleccione com o rato o botão [1] (ver Figura 1).

Poderá, então, visualizar o seguinte ecrã:



Legenda:

1. Botão para remover dados
2. Botão para calcular previsão
3. Botão de saída
4. Janela de visualização de resultados
5. Campos para inserção de temperaturas
6. Botão para inserção de temperaturas dadas pelo INMG
7. Janela de visualização gráfica da previsão e de consumos históricos
8. Botão para alteração dos dados históricos
9. Botão para visualização dos dados históricos e previsão
10. Botões para visualização gráfica das temperaturas do dia a prever e dos dados históricos
11. Campo para definição da Previsão utilizada
12. Janela de visualização gráfica das temperaturas da previsão e dos dados históricos

Figura 2.1.

Para a prever a ponta horária do dia seguinte (afixado no ecrã esquerdo) deve definir as temperaturas mínimas e máximas seleccionando com o rato os respectivos campos (ver [5] na Figura 2.1.) e escrevendo o valor desejado.

Se desejar utilizar as temperaturas do INMG deve seleccionar o Botão [6] (ver Figura 2.1.).
Se aparecer a seguinte Janela (Figura 2.1.1.)

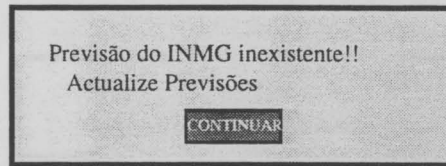


Figura 2.1.1.

Deve actualizar as temperaturas previstas pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (ver capítulo 2.4. **Actualizações**).

Nota1: se nenhuma temperatura for especificada o algoritmo assuma que elas tem o valor de 99.9 (°C) e retorna uma mensagem de erro (ver relatório de especificação).

Para além de fornecer a previsão da ponta horária do dia a prever o algoritmo fornece, também, os consumos e temperaturas dos últimos seis dias.

Nota2: a visualização dos últimos 6 dias permitem ao Analista ter uma ideia do comportamento do consumo e temperatura dum passado recente

Para definir que dias da semana deseja considerar para os últimos 6 dias deve seleccionar o botão **Histórico** [8] (ver figura 2.1.).

Deverá aparecer a seguinte Janela:

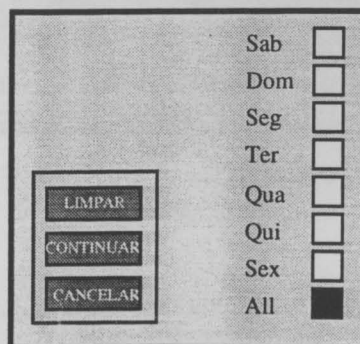


Figura 2.1.2.

Nota3: por defeito os 6 dias podem ser qualquer dia da semana.

Tendo definido as temperaturas do dia a prever pode iniciar os cálculos da previsão seleccionando o botão **CALCULAR** [2] (ver Figura 2.1.).

Enquanto os cálculos estiverem a ser efectuados deve aparecer a seguinte janela (Figura 2.1.3.):

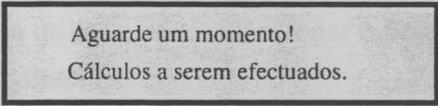


Figura 2.1.3.

Depois de executados os cálculos, o ecrã deverá ter o seguinte aspecto (supondo que se usou para temperatura mínima e máxima para o dia actual as temperaturas 16°C e 23°C, respectivamente, e para o dia a prever, Quinta-feira 24 de Maio de 1990, as temperaturas dadas pelo INMG: 18°C e 25°C, respectivamente:

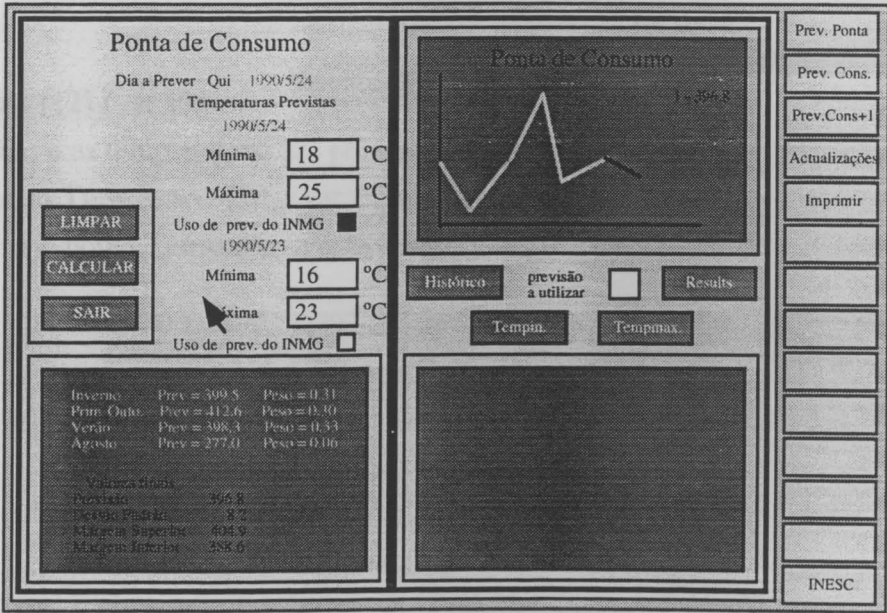


Figura 2.1.4.

Na Janela [4] (ver Figura 2.1.) podemos visualizar as previsões e respectivos pesos das diversas épocas do ano, a previsão final, desvio padrão (em %) e respectivo intervalo de confiança.

Na Janela [7] (ver Figura 2.1.) podemos visualizar graficamente as pontas horárias dos últimos 6 dias e a previsões calculadas (é possível manter até 5 previsões, do dia desejado, em simultâneo)

Nota4: No caso de experimentar mais de 5 previsões o algoritmo apaga as 5 anteriores.

Nota5: Pode também limpar as experiências pressionando o botão **LIMPAR** [1].

Se desejar visualizar numa tabela os consumos dos últimos 6 dias, previsões e respectivas temperaturas, se determinada previsão usa a previsão de temperatura do INMG e qual a previsão que o Analista deseja utilizar, deve seleccionar o botão **Results**. [9].

A janela a visualizar será a seguinte:

Date	Sem	Tmin	Tmax	Cons	U	I
80.05.17	Qui	13.7	21.8	404.5		
80.05.18	Sex	14.8	21.7	371.6		
80.05.19	Sab	14.4	23.0	401.8		
80.05.20	Dom	15.0	22.5	419.3		
80.05.21	Seg	13.7	21.4	390.5		
80.05.22	Ter	13.5	22.4	406.0		
80.05.24	Qui	18.0	25.0	395.5		

CONTINUAR

Legenda:

1. Date - data
2. Sem - dia da semana
3. Tmin - temperatura mínima
4. Tmax - Temperatura máxima
5. Cons - ponta horária
6. U - se determinada previsão é utilizada
7. I - se determinada previsão utiliza a previsão do INMG

Figura 2.1.5.

Na Janela [12] (ver Figura 2.1.) podemos visualizar graficamente as temperaturas dos últimos 6 dias e as temperaturas das previsões calculadas. Para tal deve pressionar os botões **Tempmin.** ou **Tempmax.** [10] (ver Figura 2.1.).

Se pressionar o botão **Tempmin.** o ecrã ficará com o seguinte aspecto:

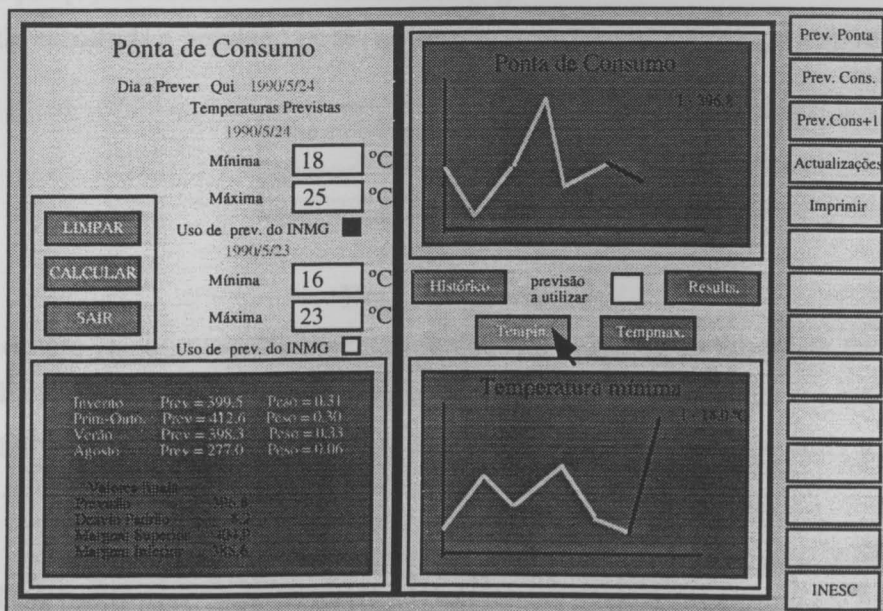


Figura 2.1.6.

Se desejar sair deste procedimento deve pressionar o botão **SAIR** [3] (ver Figura 2.1.) e deverá visualizar a seguinte Janela:

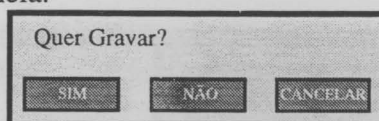


Figura 2.1.7.

Pode cancelar e voltar ao procedimento, sair e gravar ou sair sem gravar. Se escolher a opção SIM o programa irá gravar em ficheiros a previsão utilizada, respectivas previsões de temperatura (do INMG se for o caso) e mensagem de justificação (caso a haja).

Se ainda não tiver definido a previsão a utilizar aparecerá a seguinte Janela:

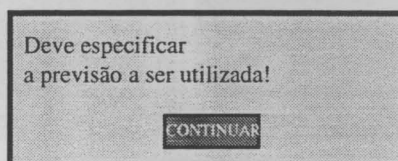


Figura 2.1.8.

Deverá, então, especificar a previsão a utilizar, devendo para isso seleccionar o campo [11] e escrever o número da previsão que deseja guardar (pode ver o número da previsão no ecrã de visualização [7] ou na tabela dos Resultados [9]).

Depois de escolhida a previsão pode, se desejar inserir mensagem explicativa na seguinte Janela:

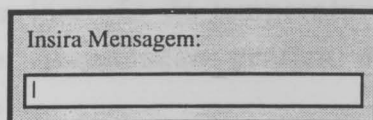


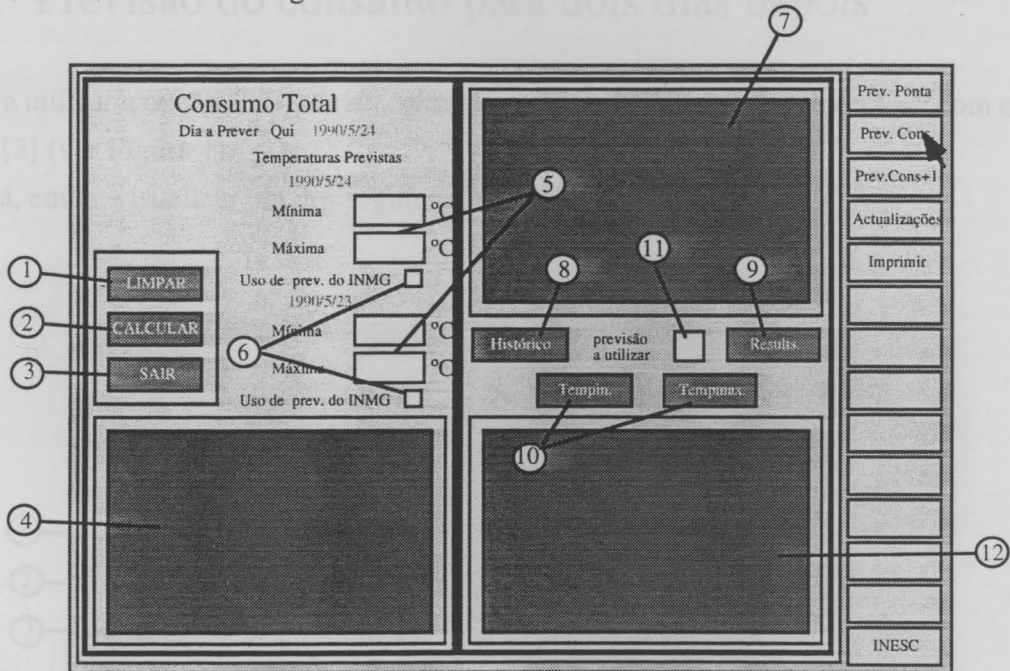
Figura 2.1.9.

Nota6: Se deseja visualizar graficamente (ecrãs [7] e [12]), ou na tabela de Resultados, os 6 últimos dias antes de experimentar qualquer previsão, deve pressionar o botão **Histórico** [8] e de seguida regressar (tendo ou não feito alterações). Isto permite activar a tabela de Resultados.

2.2. Previsão do consumo do dia seguinte

Para utilizar a opção *Previsão do consumo do dia seguinte*, seleccione com o rato o botão [2] (ver Figura 1).

Poderá, então, visualizar o seguinte ecrã:



Legenda:

1. Botão para remover dados
2. Botão para calcular previsão
3. Botão de saída
4. Janela de visualização de resultados
5. Campos para inserção de temperaturas
6. Botão para inserção de temperaturas dadas pelo INMG
7. Janela de visualização gráfica da previsão e de consumos históricos
8. Botão para alteração dos dados históricos
9. Botão para visualização dos dados históricos e previsão
10. Botões para visualização gráfica das temperaturas do dia a prever e dos dados históricos
11. Campo para definição da Previsão utilizada
12. Janela de visualização gráfica das temperaturas da previsão e dos dados históricos

Figura 2.2.1.

Para prever o consumo total pode seguir as instruções do capítulo 2.1.

2.3. Previsão do consumo para dois dias depois

Para utilizar a opção *Previsão do consumo para dois dias depois* seleccione com o rato o botão [3] (ver Figura 1).

Poderá, então, visualizar um dos seguintes ecrã :

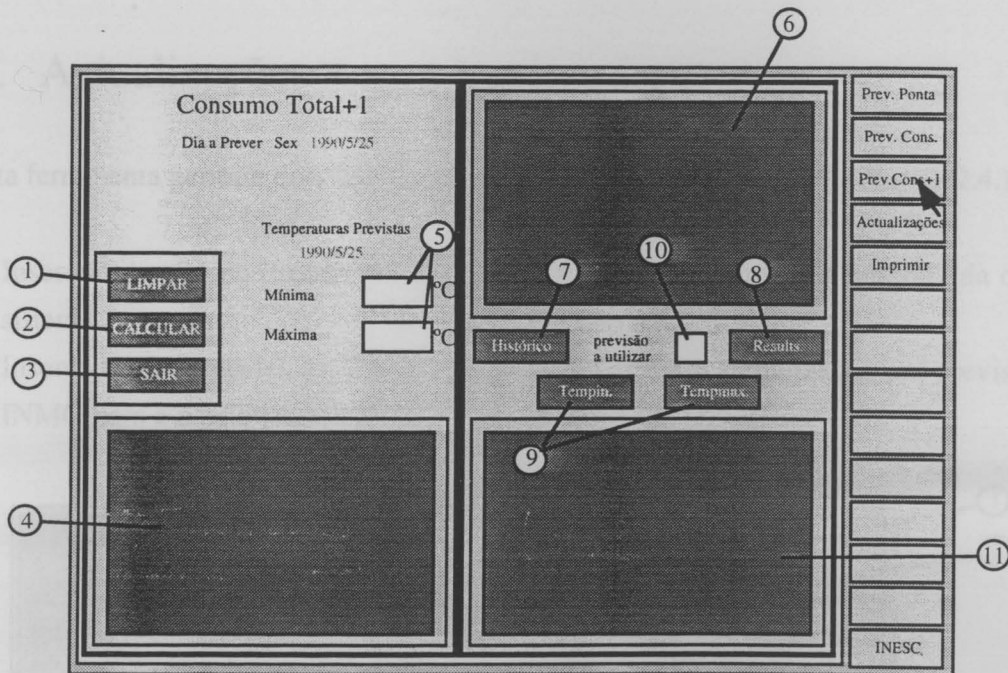


Figura 2.3.

Legenda:

1. Botão para remover dados
2. Botão para calcular previsão
3. Botão de saída
4. Janela de visualização de resultados
5. Campos para inserção de temperaturas
6. Janela de visualização gráfica da previsão e de consumos históricos
7. Botão para alteração dos dados históricos
8. Botão para visualização dos dados históricos e previsão
9. Botões para visualização gráfica das temperaturas do dia a prever e dos dados históricos
10. Campo para definição da Previsão utilizada
11. Janela de visualização gráfica das temperaturas da previsão e dos dados históricos

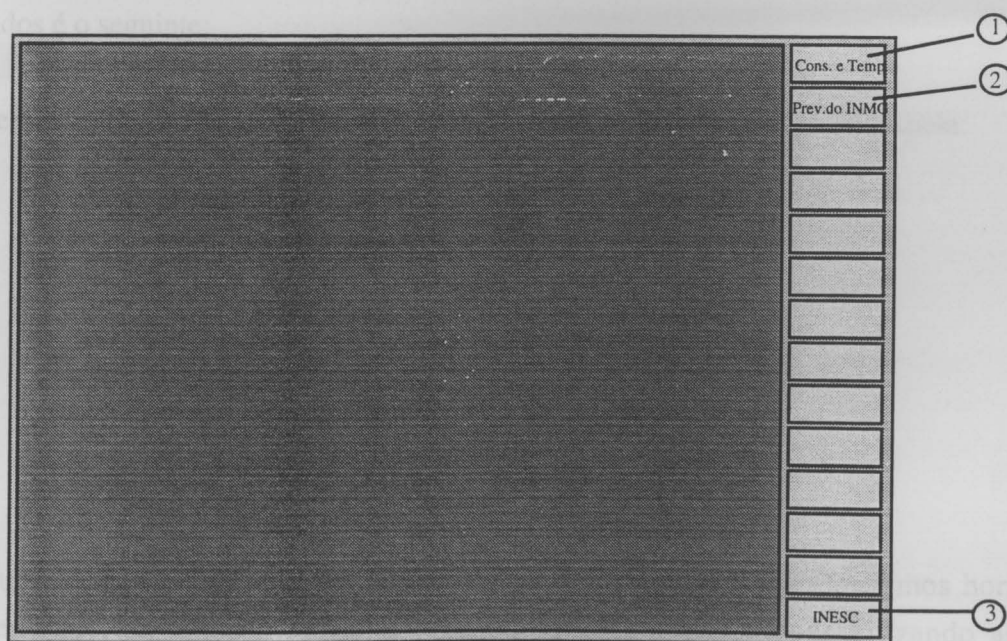
Para prever o consumo total pode seguir as instruções do capítulo 2.1.. A única diferença consiste em que para a previsão do consumo total para dois dias depois o INMG não fornece previsões de temperatura, sendo então necessário que seja o Analista a fornecê-las.

Nota: para prever o consumo total de dois dias depois, deve previamente prever o consumo do dia seguinte.

2.4. Actualizações

Esta ferramenta permite dois tipos de actualização à base de dados (ver Figura 2.4.):

1. Inserção dos 24 consumos horários e da temperatura mínima e máxima da data do sistema
2. Inserção das previsões do INMG para o dia seguinte, e actualização das previsões do INMG para a data do sistema.



Legenda:

1. Botão para inserção de consumos horários e temperaturas
2. Botão para inserção de previsão de temperaturas do INMG
3. Botão de saída

Figura 2.4.

2.4.1. Inserção de consumos horários e temperaturas

É neste procedimento que é feita a actualização da data do sistema.

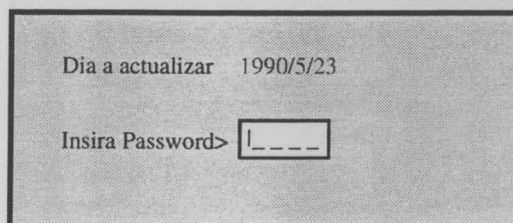
Por exemplo:

Para prever a ponta horária do dia 24/5/90 a data do sistema deve ser o 23/5/90 e a base de dados deverá conter os consumos horários e temperaturas dos dias anteriores à data do sistema.

Ao inserir os consumos horários e temperaturas da data do sistema actual (23/5/90), a actualização à base de dados é feita e a data do sistema passa a ser o dia 24/5/90. Isto obriga a ter a base constantemente actualizada, evitando-se assim possíveis erros por omissão de dados.

O procedimento para inserir os 24 consumos e temperaturas (do dia a actualizar) na base de dados é o seguinte:

Pressione o botão [1] (Figura 2.4.), poderá, então, visualizar a seguinte Janela:



Dia a actualizar 1990/5/23

Insira Password>

Figura 2.4.1.1.

Este protótipo já prevê o uso de Password na actualização de Consumos horários e temperaturas, de modo a se obter uma maior segurança, responsabilizando assim o operador.

Nota: No caso do operador não Inserir correctamente a Password em 3 tentativas o programa é interrompido, só podendo voltar a funcionar com a Password do Supervisor.

Depois de inserida correctamente a Password, poderá visualizar a seguinte Janela. Deve então inserir os 24 consumos horários:

Dia a actualizar 1990/5/23

Insira Consumos horários

1 hora >

Figura 2.4.1.2.

Nota2: No caso de saltar um dos consumos horários, ele fica, por defeito, com o valor 0.0.

Depois de inserir os consumos horários pode inserir as temperaturas (Figuras 2.4.1.3. e 2.4.1.4.):

Dia a actualizar 1990/5/23

Insira temperaturas

temperatura mínima > °C

Figura 2.4.1.3.

Dia a actualizar 1990/5/23

Insira temperaturas

temperatura mínima > °C

temperatura máxima > °C

Figura 2.4.1.4.

Nota3: No caso de saltar uma das temperaturas, ela fica, por defeito, com o valor 99.9°C.

Depois da actualização feita poderá visualizar a seguinte Janela:

Dia a actualizar 1990/5/23

Figura 2.4.1.5.

Poderá então gravar e voltar ao menu principal do procedimento (Figura 2.4.), sair sem gravar ou corrigir.

Para corrigir deve pressionar o botão **CORRIGIR**, e visualizará a seguinte tabela:

Dia a actualizar 1990/5/23

Cons da 1 hora	76.5
Cons das 2 horas	42.1
Cons das 3 horas	45.4
Cons das 4 horas	44.8
Cons das 5 horas	51.0
Cons das 6 horas	74.2
Cons das 7 horas	163.1
Cons das 8 horas	368.4
Cons das 9 horas	365.5
Cons das 10 horas	307.5
Cons das 11 horas	319.5
Cons das 12 horas	343.0
Cons das 13 horas	335.5
Cons das 14 horas	302.5
Cons das 15 horas	236.0
Cons das 16 horas	165.5
Cons das 17 horas	170.0
Cons das 18 horas	186.5
Cons das 19 horas	297.5
Cons das 20 horas	349.0
Cons das 21 horas	298.0
Cons das 22 horas	181.0
Cons das 23 horas	150.0
Cons das 24 horas	104.4
Temperatura mínima	17.6 °C
Temperatura máxima	21.4 °C

GRAVAR CANCELAR

Figura 2.4.1.6.

Pode, de seguida, seleccionar com o rato o consumo horário ou temperatura que quer corrigir. Pode ainda cancelar ou gravar e sair.

IMPORTANTE Depois de gravar, a data do sistema é incrementada de um dia, não podendo o operador voltar atrás. Em caso de erro deve contactar imediatamente o INESC.

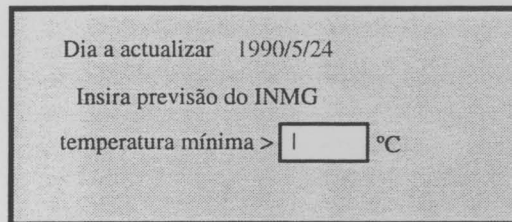
2.4.2. Inserção de previsão de temperatura do INMG

Esta ferramenta possibilita inserir na base de dados a previsão da temperatura, para o dia

actual (data do sistema) e para o dia seguinte, dada pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.

O procedimento para inserir as previsões de temperatura é o seguinte:

Pressione o botão [2] (Figura 2.4.), poderá, então, visualizar a seguinte Janela:



Dia a actualizar 1990/5/24

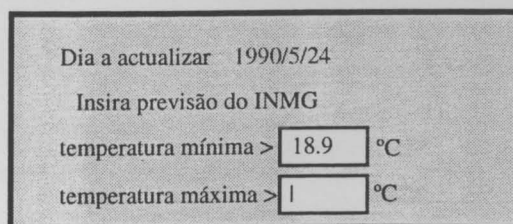
Insira previsão do INMG

temperatura mínima > °C

Figura 2.4.2.1.

Depois de inserir as previsões das temperaturas mínimas e máximas dadas pelo INMG para o dia seguinte (ver Figura 2.4.2.1. e Figura 2.4.2.2.) pode actualizar ou não (Figura 2.4.2.3.) as previsões das temperaturas mínimas e máximas dadas pelo INMG para o dia actual. Esta actualização é importante para a previsão do consumo total (ver capítulo 2.2.) às Quartas, Quintas e Sexta-feiras.

Nota: No caso de não actualizar as previsões de temperatura do INMG para o dia actual, o algoritmo assume por defeito as previsões dadas na véspera.



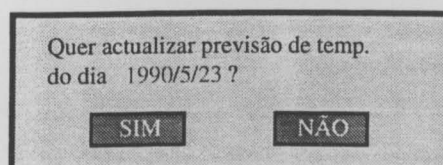
Dia a actualizar 1990/5/24

Insira previsão do INMG

temperatura mínima > °C

temperatura máxima > °C

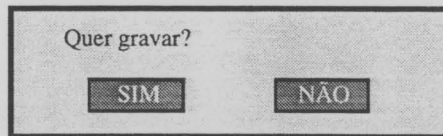
Figura 2.4.2.2.



Quer actualizar previsão de temp.
do dia 1990/5/23 ?

Figura 2.4.2.3.

Por fim, pode sair e gravar ou sem gravar:



Quer gravar?

Figura 2.4.2.4.





FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000042415

